

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application: 2002年 6月27日

出願番号

Application Number: 特願2002-188795

[ST.10/C]:

[JP2002-188795]

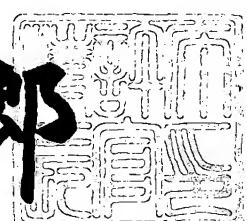
出願人

Applicant(s): ティーディーケイ株式会社

2003年 3月28日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3021372

【書類名】 特許願

【整理番号】 03748

【提出日】 平成14年 6月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G11B 5/31

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

【氏名】 加々美 健朗

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

【氏名】 佐藤 一樹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

【氏名】 金谷 貴保

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

【氏名】 猿木 俊司

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 ティーディーケイ株式会社内

【氏名】 桑島 哲哉

【特許出願人】

【識別番号】 000003067

【氏名又は名称】 ティーディーケイ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100096770

【弁理士】

【氏名又は名称】 四宮 通

【電話番号】 045-562-8508

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 040246

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気ヘッド、ヘッドサスペンションアセンブリ及び磁気ディスク装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基体の一方の面側に形成されフリー層を含む磁気抵抗効果層と、前記磁気抵抗効果層における磁気検出に有効に関与する有効領域と重ならず、前記有効領域と接するように形成された単層膜と、を備え、

前記単層膜は、Siよりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む酸化物又は窒化物からなる絶縁材料からなり、

前記単層膜は前記フリー層にバイアス磁界を与える層を含まないことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 基体の一方の面側に形成されフリー層を含む磁気抵抗効果層と、

前記磁気抵抗効果層における磁気検出に有効に関与する有効領域と重ならず、前記有効領域と接するように形成された複層膜と、

を備え、

前記複層膜の最も前記基体側の層は、Siよりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む酸化物又は窒化物からなる絶縁材料からなり、

前記複層膜は、前記フリー層にバイアス磁界を与える層を含まないことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 前記絶縁材料は、TiO₂、MgO、Ta₂O₅及びWO₃からなる群より選ばれた少なくとも1つであることを特徴とする請求項1又は2記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 基体の一方の面側に形成されフリー層を含む磁気抵抗効果層と、

前記磁気抵抗効果層における磁気検出に有効に関与する有効領域と重ならず、前記有効領域と接するように形成された複層膜と、

を備え、

前記複層膜の最も前記基体側の層は絶縁材料からなり、

前記複層膜における最も前記基体側の層以外の少なくとも1つの層は、Siよりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む所定の材料からなり、

前記複層膜は、前記フリー層にバイアス磁界を与える層を含まないことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 前記所定の材料は、P、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、As、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pt、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Hg、Tl、Pb、Bi、並びに、これらのいずれか1つ以上を含む非磁性金属及び非磁性半導体からなる群より選ばれた少なくとも1つであることを特徴とする請求項4記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 前記所定の材料は、 TiO_2 、 MgO 、 Ta_2O_5 及び WO_3 からなる群より選ばれた少なくとも1つであることを特徴とする請求項4記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 前記有効領域は、前記磁気抵抗効果層において膜面と略々垂直な方向に電流が流れる領域であることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 前記磁気抵抗効果層の前記基体とは反対側の面に形成された1層以上からなる非磁性金属層を備え、

前記非磁性金属層は、前記磁気抵抗効果層の少なくとも前記基体とは最も反対側の層と実質的にちょうど重なるように、形成されたことを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 前記磁気抵抗効果層は、前記フリー層の一方の面側に形成されたトンネルバリア層と、該トンネルバリア層の前記フリー層とは反対の側に形成されたピンド層と、前記ピンド層の前記トンネルバリア層とは反対の側に形成されたピン層と、を含み、

前記単層膜又は前記複層膜が、前記トンネルバリア層の端面に接触することを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 基体と、該基体により支持された磁気抵抗効果素子とを備え、前記磁気抵抗効果素子が請求項1乃至9のいずれかに記載された磁気抵抗効

果素子であることを特徴とする磁気ヘッド。

【請求項11】 前記単層膜又は前記複層膜は、少なくとも前記有効領域の磁気記録媒体側とは反対側において、前記有効領域と接触することを特徴とする請求項10記載の磁気ヘッド。

【請求項12】 請求項10又は11記載の磁気ヘッドと、該磁気ヘッドが先端部付近に搭載され前記磁気ヘッドを支持するサスペンションと、を備えたことを特徴とするヘッドサスペンションアセンブリ。

【請求項13】 請求項12記載のヘッドサスペンションアセンブリと、該アセンブリを支持するアーム部と、該アーム部を移動させて磁気ヘッドの位置決めを行うアクチュエータと、を備えたことを特徴とする磁気ディスク装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気抵抗効果素子、並びに、これを用いた磁気ヘッド、ヘッドサスペンションアセンブリ及び磁気ディスク装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

ハードディスクドライブ（HDD）の大容量小型化に伴い、高感度、高出力のヘッドが要求されている。その要求に対して、現行製品であるGMRヘッド（Giant Magneto-Resistive Head）の懸命な特性改善が進んでおり、一方でGMRヘッドの2倍以上の抵抗変化率が期待できるトンネル磁気抵抗効果型ヘッド（TMRヘッド）の開発も精力的に行われている。

【0003】

GMRヘッドとTMRヘッドは、一般的に、センス電流を流す方向の違いからヘッド構造が異なる。一般のGMRヘッドのような膜面に対して平行にセンス電流を流すヘッド構造をCIP（Current In Plane）構造、TMRヘッドのように膜面に対して垂直にセンス電流を流すヘッド構造をCPP（Current Perpendicular to Plane）構造と呼ぶ。CPP構造は、磁気シールドそのものを電極として用いることができるため、CIP構造の狭リードギャップ化において深刻な問題

になっている、磁気シールドー素子間ショート（絶縁不良）が本質的に生じない。そのため、高記録密度化においてCPP構造は大変有利である。

【0004】

CPP構造のヘッドとしては、TMRヘッドの他にも、例えば、磁気抵抗効果素子にスピナルブルブ膜（スペキュラー型、デュアルスピナルブルブ型磁性多層膜を含む）を用いながらもCPP構造を持つCPP-GMRヘッドも知られている。

【0005】

CPP構造のヘッドでは、いずれのタイプのヘッドであっても、基体上に形成された磁気抵抗効果層に電流を流すための上部電極及び下部電極が、前記磁気抵抗効果層の上面側（基体と反対側）及び下面側（基体側）にそれぞれ形成されている。製造工程上、一般的に、磁気抵抗効果層の形成後であって上部電極の形成前に、磁気抵抗効果層が形成された基体が大気中に置かれる。このとき、磁気抵抗効果層の上面が空気中で酸化されてしまうことにより磁気抵抗効果層のMR比等の特性を損なうような事態を防止するため、磁気抵抗効果層の上面には、保護膜として、キャップ層と呼ばれる非磁性金属層が予め形成される。この非磁性金属層としては、酸化され難い材料又は酸化しても抵抗が低い材料が好ましく、Ru、Rh、Pt、Au、Taなどが用いられている。そして、CPP構造のヘッドでは、上部電極は、この非磁性金属層を介して、磁気抵抗効果層に電気的に接続されている。

【0006】

ところで、スピナルブルブ膜やTMR膜を利用したヘッドでは、CIP構造及びCPP構造のいずれにおいても、バルクハウゼンノイズを抑制するために、フリー層へトラック幅方向にバイアス磁界が印加される。一般に、CIP構造では、トラック幅を規定するミリングに使用したレジストマスクをそのまま利用し、リフトオフ法により、CoCrPt等の硬磁性膜を磁区制御膜として磁気抵抗効果層の両隣に形成する。これをAbutted構造と呼ぶ。CPP構造においても、CIP-GMRヘッドと同様に、Abutted構造によりフリー層へバイアス磁界を印加している（例えば、特開2000-30223号公報、特開2001-14616号公報など）。このように、いずれのタイプのヘッドにおいても、フリー層へ

のバイアス磁界の印加は、**Abutted**構造により実現しているのが一般的である。

【0007】

これに対し、中塩らによる論文（"Longitudinal bias method using a long distance exchange coupling field in tunnel magnetoresistance junctions", *Journal of Applied Physics*, Vol.89, No.11, pp.1-3 (1 June 2001)）及び特開2001-68759号公報において、フリー層へバイアス磁界を印加する磁区制御膜としてのIrMn等の反強磁性層を磁気抵抗効果層のフリー層上に積層した磁気抵抗効果素子（TMR素子）が、提案されている。このTMR素子では、トンネルバリア層上のフリー層上にCu等の非磁性金属層が形成され、この非磁性金属層上に前記反強磁性層が形成されている。このTMR素子によれば、反強磁性層の交換結合磁界が、バイアス磁界として、非磁性金属層を介してフリー層に対してトラック幅方向に与えられる。その結果、フリー層の磁化方向が固定されることなく、フリー層の磁区が制御され、バルクハウゼンノイズが抑制される。

【0008】

従来は、**Abutted**構造を採用した磁気ヘッドの場合には、フリー層へバイアス磁界を与える磁区制御層としての硬磁性膜が配置されていない、磁気抵抗効果層の磁気記録媒体側（A B S側）と反対側には、磁気抵抗効果層の端面付近のみならずそこからかなり離れた箇所に至るまで、Al₂O₃又はSiO₂からなる絶縁層が配置されていた。また、前記論文及び特開2001-68759号公報に開示された構造を採用した磁気ヘッドの場合には、フリー層へバイアス磁界を与える磁区制御層としての反強磁性層が磁気抵抗効果層上に積層されることから、磁気抵抗効果層の磁気記録媒体側（A B S側）以外の周囲の全体に渡って、磁気抵抗効果層の端面付近のみならずそこからかなり離れた箇所に至るまで、Al₂O₃又はSiO₂からなる絶縁層が配置されていた。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

TMRヘッドなどCPP構造のヘッドでは、上部電極及び前記非磁性金属層（キャップ層）を経由して磁気抵抗効果層に電流を流すため、上部電極と非磁性金

属層との間に良好な電気的接触を保ち、低抵抗化を実現する必要がある。ところが、磁気抵抗効果層及び非磁性金属層が形成された基体を大気中に置いた際に、非磁性金属層の表面は空気中で酸化する。非磁性金属層として酸化され難い材料を使用しても、多少の酸化膜や表面吸着層が少なからず存在する。このため、そのままの状態で非磁性金属層の上に上部電極などの他の層を形成するとすれば、上部電極と非磁性金属層との間に良好な電気的接触を保つことができない。そこで、非磁性金属層の上に上部電極などの他の層を形成する前に、上部電極等を成膜するのと同一の真空装置内で、ドライエッチング（スパッタエッチング、イオンビームエッチング等）を行うことにより、非磁性金属層の表面酸化膜が除去されている。

【0010】

しかし、この表面酸化膜の除去工程の際、低抵抗化を実現するために十分なドライエッチングを施すと、磁気抵抗効果層へのイオンビームによるダメージが深刻な問題になる。例えば、TMRヘッドの場合には極薄のトンネルバリア層（例えば、厚さ1nm以下）へのイオンビームダメージが深刻な問題になり、MR比が極端に下がり、場合によっては磁気ヘッドとして用いることができなくなる。

【0011】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、非磁性金属層の表面酸化膜を除去して低抵抗化を実現しつつイオンビームダメージを低減し、ひいては素子の特性を向上することができる、磁気抵抗効果素子、並びに、これを用いた磁気ヘッド、ヘッドサスペンションアセンブリ及び磁気ディスク装置を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】

本発明者の研究の結果、前述した表面酸化膜の除去工程の際に、磁気抵抗効果層にイオンビームダメージを与える経路の1つとして、磁気抵抗効果層の端面（例えば、TMRヘッドの場合には、特にトンネルバリア層の端面）に到達する経路が存在することが判明した。さらに、従来の磁気抵抗効果素子において、磁気抵抗効果層の所定の端面付近に配置されている絶縁層としてのAl₂O₃及びS

SiO_2 は、イオンビームダメージ低減効果が比較的低く、特にその端面からのイオンビームダメージが問題になることが判明した。本発明者は、このような新たな知見に基づいて、この経路に Al_2O_3 及び SiO_2 よりイオンビームダメージ低減効果の高い材料を配置することにより、磁気抵抗効果層に与えるイオンビームダメージを低減することを着想し、その効果を実験により確かめた。

【0013】

ここで、ここで2つの材料のイオンビームダメージ低減効果の高低について説明すると、当該2つの材料でそれぞれ同じ厚さの層を構成し、各層の一方側にそれぞれイオンビームダメージが問題となる対象層（例えば、トンネルバリア層）を形成し、前記2つの材料の層に、対象層と反対側から同じエネルギーのイオンビームをそれぞれ直接又は同じ所定層を介して照射したとき、対象層が破壊されなかったりその特性が劣化し難い方の材料を他方の材料よりイオンビームダメージ低減効果が高いという。一般的に、構成元素の原子量が大きい材料ほど、ここでいうイオンビームダメージ低減効果が高くなると考えられる。イオンビームダメージは、前記材料内を通過して Ar 等のイオンビームが対象層に直接到達し対象層を破壊したり、あるいは、前記材料内の結晶格子中を格子振動という形でイオンビームのエネルギーが伝わり対象層を破壊したり、前記材料内の結晶中の原子が玉突き状態でイオンビームのエネルギーを伝えて対象層を破壊したりすることにより、生ずるものと考えられる。

【0014】

本発明は、前述したような本発明者の研究の結果としてなされたもので、前記課題を解決するため、本発明の第1の態様による磁気抵抗効果素子は、基体の一方の面側に形成されフリー層を含む磁気抵抗効果層と、前記磁気抵抗効果層における磁気検出に有効に関与する有効領域と重ならずに、前記有効領域と接するようになされた単層膜と、を備え、前記単層膜は、 Si よりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む酸化物又は窒化物からなる絶縁材料からなり、前記単層膜は前記フリー層にバイアス磁界を与える層を含まないものである。

【0015】

Si よりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む酸化物又は窒化

物からなる絶縁材料は、 Al_2O_3 及び SiO_2 よりイオンビームダメージ低減効果が高い。このため、前記第1の態様では、 Si よりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む酸化物又は窒化物からなる絶縁材料からなる単層膜が、磁気抵抗効果層の有効領域に対して前述したような関係で形成されているので、磁気抵抗効果層の有効領域の端面の少なくとも一部の領域に到達するイオンビームダメージが、従来の磁気抵抗効果素子に比べて低減される。したがって、この第1の態様によれば、表面酸化膜を除去して低抵抗化を実現しつつイオンビームダメージを低減し、ひいては素子の特性を向上することができる。なお、前記単層膜が絶縁材料からなるので、磁気抵抗効果層の各層の電気的な短絡が生ずることがない。

【0016】

本発明の第2の態様による磁気抵抗効果素子は、基体の一方の面側に形成されフリー層を含む磁気抵抗効果層と、前記磁気抵抗効果層における磁気検出に有効に関与する有効領域と重ならずに、前記有効領域と接するように形成された複層膜と、を備え、前記複層膜の最も前記基体側の層は、 Si よりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む酸化物又は窒化物からなる絶縁材料からなり、前記複層膜は、前記フリー層にバイアス磁界を与える層を含まないものである。

【0017】

この第2の態様では、前記複層膜が磁気抵抗効果層の有効領域に対して前述したような関係で形成され、前記複層膜の最も基体側の層が、 Si よりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む酸化物又は窒化物からなる絶縁材料からなるので、前記第1の態様と同様に、磁気抵抗効果層の有効領域の端面の少なくとも一部の領域に到達するイオンビームダメージが、従来の磁気抵抗効果素子に比べて低減される。したがって、この第2の態様によれば、前記第1の態様と同様の利点が得られる。なお、前記複層膜の最も基体側の層が絶縁材料からなるので、前記複層膜の他の層が導体又は半導体で構成されていても、磁気抵抗効果層の各層の電気的な短絡が生ずることがない。

【0018】

本発明の第3の態様による磁気抵抗効果素子は、前記第1又は第2の態様において、前記絶縁材料は、 TiO_2 、 MgO 、 Ta_2O_5 及び WO_3 からなる群より選ばれた少なくとも1つであるものである。この第3の態様は、前記絶縁材料の例を挙げたものであるが、前記絶縁材料はこれらの例に限定されるものではない。

【0019】

本発明の第4の態様による磁気抵抗効果素子は、基体の一方の面側に形成されフリー層を含む磁気抵抗効果層と、前記磁気抵抗効果層における磁気検出に有効に関与する有効領域と重ならずに、前記有効領域と接するように形成された複層膜と、を備え、前記複層膜の最も前記基体側の層は絶縁材料からなり、前記複層膜における最も前記基体側の層以外の少なくとも1つの層は、Siよりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む所定の材料からなり、前記複層膜は、前記フリー層にバイアス磁界を与える層を含まないものである。

【0020】

この第4の態様では、前記複層膜が磁気抵抗効果層の有効領域に対して前述したような関係で形成され、前記複層膜における最も基体側の層以外の少なくとも1つの層が、Siよりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む所定の材料からなるので、前記第1の態様と同様に、磁気抵抗効果層の有効領域の端面の少なくとも一部の領域に到達するイオンビームダメージが、従来の磁気抵抗効果素子に比べて低減される。したがって、この第4の態様によれば、前記第1の態様と同様の利点が得られる。なお、前記複層膜の最も基体側の層が絶縁材料からなるので、前記複層膜の他の層が導体又は半導体で構成されていても、磁気抵抗効果層の各層の電気的な短絡が生ずることがない。

【0021】

本発明の第5の態様による磁気抵抗効果素子は、前記第4の態様において、前記所定の材料は、P、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、As、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pt、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Hg、Tl、Pb、Bi、並びに、これらのいずれか1つ以上を含む非磁性金属及び非磁

性半導体からなる群より選ばれた少なくとも1つであるものである。この第5の態様は、前記所定の材料の例を挙げたものである。

【0022】

本発明の第6の態様による磁気抵抗効果素子は、前記第4の態様において、前記所定の材料は、 TiO_2 、 MgO 、 Ta_2O_5 及び WO_3 からなる群より選ばれた少なくとも1つであるものである。この第6の態様も、前記所定の材料の例を挙げたものである。

【0023】

本発明の第7の態様による磁気抵抗効果素子は、前記第1乃至第6のいずれかの態様において、前記有効領域は、前記磁気抵抗効果層において膜面と略々垂直な方向に電流が流れる領域であるものである。この第7の態様は、有効領域の例を挙げたものであるが、前記第1乃至第6の態様では、有効領域は、これに限定されるものではなく、磁気検出に有効に関与する領域であればよい。

【0024】

本発明の第8の態様による磁気抵抗効果素子は、前記第1乃至第7のいずれかの態様において、前記磁気抵抗効果層の前記基体とは反対側の面に形成された1層以上からなる非磁性金属層を備え、前記非磁性金属層は、前記磁気抵抗効果層の少なくとも前記基体とは最も反対側の層と実質的にちょうど重なるように、形成されたものである。

【0025】

この第8の態様によれば、前記非磁性金属層によって磁気抵抗効果層が保護されるので、好ましい。また、この第8の態様によれば、磁気抵抗効果層の少なくとも前記基体とは最も反対側の層をミリング等して所望の形状にする際に、非磁性金属層も同時にミリング等することができ、いわゆるセルフアラインを達成することができる。したがって、製造工程が簡略化され、好ましい。

【0026】

本発明の第9の態様による磁気抵抗効果素子は、前記第1乃至第8のいずれかの態様において、(a)前記磁気抵抗効果層は、前記フリー層の一方の面側に形成されたトンネルバリア層と、該トンネルバリア層の前記フリー層とは反対の側

に形成されたピンド層と、前記ピンド層の前記トンネルバリア層とは反対の側に形成されたピン層と、を含み、(b) 前記単層膜又は前記複層膜が、前記トンネルバリア層の端面に接触するものである。

【0027】

この第9の態様は、前記第1乃至第8の態様をTMR素子に適用した例である。TMR素子では、磁気抵抗効果層自体を低抵抗化するべくトンネルバリア層を極薄にすると、イオンビームダメージの影響が非常に大きくなるため、前記第9の態様のようにTMR素子に適用した場合、その効果は著しくなる。もっとも、前記第1乃至第8の態様では、TMR素子に限定されるものではなく、例えば、CPP-GMR素子等にも適用することができる。

【0028】

本発明の第10の態様による磁気ヘッドは、基体と、該基体により支持された磁気抵抗効果素子とを備え、前記磁気抵抗効果素子が前記第1乃至第9のいずれかの態様による磁気抵抗効果素子であるものである。

【0029】

この第10の態様によれば、前記第1乃至第9のいずれかの態様による磁気抵抗効果素子が用いられているので、非磁性金属層を用いて磁気抵抗効果層表面の酸化を防止しつつ、電極と非磁性金属層との間の良好な電気的接触を確保し、しかも、磁気抵抗効果層へのイオンビームダメージを低減し、ひいては素子の特性を向上することができる。

【0030】

本発明の第11の態様による磁気ヘッドは、前記第10の態様において、前記単層膜又は前記複層膜は、少なくとも前記有効領域の磁気記録媒体側とは反対側において、前記有効領域と接触するものである。

【0031】

前述したように、従来のAbutted構造を採用した磁気ヘッドにおいても、前記論文及び特開2001-68759号公報に開示された構造を採用した従来の磁気ヘッドにおいても、磁気抵抗効果層の磁気記録媒体側(ABS側)と反対側には、磁気抵抗効果層の端面付近のみならずそこからかなり離れた箇所に至るまで

、 Al_2O_3 又は SiO_2 からなる絶縁層が配置されていた。前記第11の態様によれば、磁性金属層の磁気記録媒体側と反対側の端面に対する経路のイオンビームダメージが低減されるので、その効果は著しい。

【0032】

本発明の第12の態様によるヘッドサスペンションアセンブリは、前記第10又は第11の態様による磁気ヘッドと、該磁気ヘッドが先端部付近に搭載され前記磁気ヘッドを支持するサスペンションと、を備えたものである。

【0033】

この第12の態様によれば、前記第10又は第11の態様による磁気ヘッドが用いられているので、磁気ディスク装置等の高記録密度化等を図ることができる。

【0034】

本発明の第13の態様による磁気ディスク装置は、前記第12の態様によるヘッドサスペンションアセンブリと、該アセンブリを支持するアーム部と、該アーム部を移動させて磁気ヘッドの位置決めを行うアクチュエータと、を備えたものである。この第13の態様によれば、前記第12の態様による磁気ヘッドが用いられているので、高記録密度化を図ることができる。

【0035】

【発明の実施の形態】

以下、本発明による磁気抵抗効果素子、並びに、これを用いた磁気ヘッド、ヘッドサスペンションアセンブリ及び磁気ディスク装置について、図面を参照して説明する。

【0036】

【第1の実施の形態】

【0037】

図1は、本発明の第1の実施の形態による磁気ヘッドを模式的に示す概略斜視図である。図2は、図1に示す磁気ヘッドのTMR素子2及び誘導型磁気変換素子3の部分を模式的に示す拡大断面図である。図3は、図2中のA-A'矢視概略図である。図4は、図2中のTMR素子2付近を更に拡大した拡大図である。

図5は、図3中のTMR素子2付近を更に拡大した拡大図である。理解を容易にするため、図1乃至図5に示すように、互いに直交するX軸、Y軸及びZ軸を定義する（後述する図についても同様である。）。また、Z軸方向のうち矢印の向きを+Z方向又は+Z側、その反対の向きを-Z方向又は-Z側と呼び、X軸方向及びY軸方向についても同様とする。X軸方向が磁気記録媒体の移動方向と一致している。Z軸方向がTMR素子2のトラック幅方向と一致している。

【0038】

第1の実施の形態による磁気ヘッドは、図1に示すように、基体としてのスライダ1と、再生用磁気ヘッド素子として用いられる磁気抵抗効果素子としてのTMR素子2と、記録用磁気ヘッド素子としての誘導型磁気変換素子3と、DLC膜等からなる保護膜4とを備え、複合型磁気ヘッドとして構成されている。もっとも、本発明による磁気ヘッドは、例えば、TMR素子2のみを備えていてよい。また、第1の実施の形態では、素子2、3はそれぞれ1個ずつ設けられているが、その数は何ら限定されるものではない。

【0039】

スライダ1は磁気記録媒体対向面側にレール部11、12を有し、レール部11、12の表面がABS（エアベアリング面）を構成している。図1に示す例では、レール部11、12の数は2本であるが、これに限らない。例えば、1～3本のレール部を有してもよいし、ABSはレール部を持たない平面であってもよい。また、浮上特性改善等のために、ABSに種々の幾何学的形状が付されることもある。本発明による磁気ヘッドは、いずれのタイプのスライダを有していてもよい。

【0040】

第1の実施の形態では、保護膜4はレール部11、12の表面にのみ設けられ、保護膜4の表面がABSを構成している。もっとも、保護膜4は、スライダ1の磁気記録媒体対向面の全面に設けてよい。また、保護膜4を設けることが好ましいが、必ずしも保護膜4を設ける必要はない。

【0041】

TMR素子2及び誘導型磁気変換素子3は、図1に示すように、レール部11

、12の空気流出端部TRの側に設けられている。記録媒体移動方向は、図中のX軸方向と一致しており、磁気記録媒体が高速移動した時に動く空気の流出方向と一致する。空気は流入端部LEから入り、流出端部TRから流出する。スライダ1の空気流出端部TRの端面には、TMR素子2に接続されたボンディングパッド5a, 5b及び誘導型磁気変換素子3に接続されたボンディングパッド5c, 5dが設けられている。

【0042】

TMR素子2及び誘導型磁気変換素子3は、図2及び図3に示すように、スライダ1を構成するセラミック基体15の上に設けられた下地層16の上に、積層されている。セラミック基体15は、通常、アルチック(Al_2O_3 -TiC)又はSiC等で構成される。 Al_2O_3 -TiCを用いる場合、これは導電性があるので、下地層16として、例えば Al_2O_3 からなる絶縁膜が用いられる。下地層16は、場合によっては設けなくてもよい。

【0043】

TMR素子2は、図4及び図5に示すように、下地層16上に形成された下部電極21と、下部電極21の上側（基体15と反対側）に形成された上部電極31と、電極21, 31間に下部電極21側から順に積層された、下部金属層（下層）22、下部金属層（上層）23、ピン層24、ピンド層25、トンネルバリア層26、フリー層27、保護膜となる非磁性金属層としての上部金属層（キャップ層）28、及び、上部電極3の下地層としての上部金属層29と、を備えている。ピン層24、ピンド層25、トンネルバリア層26及びフリー層27が、磁気抵抗効果層を構成している。実際のTMR素子2は、図示されたような層数の膜構造ではなく、より多層の膜構造を有するのが一般的であるが、図に示す磁気ヘッドでは、説明の簡略化のため、TMR素子2の基本動作に必要な最少膜構造を示してある。

【0044】

第1の実施の形態では、下部電極21及び上部電極31は、下部磁気シールド及び上部磁気シールドとしてそれぞれ兼用されている。電極21, 31は、例えば、NiFeなどの磁性材料で形成されている。図面には示していないが、これ

らの電極21, 31は、前述したボンディングパッド5a, 5bにそれぞれ電気的に接続されている。なお、下部電極21及び上部電極31とは別に、下部磁気シールド及び上部磁気シールドを設けてもよいことは、言うまでもない。

【0045】

下部金属層22は、導電体となっており、例えば、Ta層などで構成される。下部金属層23は、導電体となっており、例えば、NiFe層などで構成される。本例では、上側の下部金属層23は磁気抵抗効果層の部分のみに形成され、下側の下部金属層22は電極21上に広く延在しているが、上側の下部金属層23も広く延在させてもよいし、あるいは、下側の下部金属層22も磁気抵抗効果層の部分のみに形成してもよい。

【0046】

ピン層24は、反強磁性層で構成され、例えば、PtMn, IrMn, RuRhMn, FeMn, NiMn, PdPtMn, RhMn又はCrMnPtなどのMn系合金で形成することが好ましい。ピンド層25及びフリー層27は、それぞれ強磁性層で構成され、例えば、Fe, Co, Ni, FeCo, NiFe, CoZrNb又はFeCoNiなどの材料で形成される。ピンド層25は、ピン層24との間の交換結合バイアス磁界によってその磁化方向が所定方向に固定されている。一方、フリー層27は、基本的に磁気情報である外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変わるようにになっている。なお、本実施の形態では、下部電極21側からピン層24、ピンド層25、トンネルバリア層26、フリー層27の順に配置されているが、下部電極21側からフリー層27、トンネルバリア層26、ピンド層25、ピン層24の順に配置してもよい。トンネルバリア層26は、例えば、Al₂O₃, NiO, GdO, MgO, Ta₂O₅, MoO₂, TiO₂又はWO₂などの材料で形成される。

【0047】

キャップ層としての上部金属層（非磁性金属層）28は、例えば、Ta, Rh, Ru, Os, W, Pd, Pt又はAuの単体、又は、これらのいずれか2種以上の組み合わせからなる合金、を用いた、単層膜又は多層膜で形成される。上部金属層28の厚さは、7nm以上にすることが好ましい。上部金属層28の厚さ

を7nm以上にすると、製造工程の過程で上部金属層28の表面の酸化膜をドライエッチングにより除去する際に、前記磁気抵抗効果層のダメージをより低減することができる。本実施の形態では、上部金属層28は後述するように製造時に層23～27と一緒にミリングされ、上部金属層28は層23～27と実質的にちょうど重なっている。

【0048】

上部電極の下地層となる上部金属層29は、導電体となっており、Taなどの非磁性金属材料で形成される。本実施の形態では、上部金属層29は、磁気シールドギャップ（電極21, 31間のギャップ）を所望の間隔に保つために、設けられている。もっとも、必ずしも上部金属層29を設ける必要はない。

【0049】

図3及び図5に示すように、フリー層27及びピン層24のZ軸方向の両側には、フリー層27に磁区制御のためのバイアス磁界を付与する磁区制御層としての硬磁性層32, 33が形成されている。硬磁性層32, 33は、例えば、Cr/CoPt（コバルト白金合金）、Cr/CoCrPt（コバルトクロム白金合金）、TiW/CoPt、TiW/CoCrPtなどの材料で形成される。これらの層32, 33の下側には、Al₂O₃などからなる絶縁層34が形成されている。絶縁層34は、硬磁性層32, 33と層23～28の端面との間に介在し、層23～28が硬磁性層32, 33によって電気的に短絡しないようになっている。

【0050】

また、図2及び図4に示すように、硬磁性層32, 33が形成されていない領域には、下部金属層22と上部金属層29において、Al₂O₃などからなる絶縁層35a、及び、Siよりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む材料（以下、「ダメージ低減材料」という。）からなる層（以下、「ダメージ低減層」という。）35bが、形成されている。本実施の形態では、層35a, 35bが、磁気抵抗効果層における磁気検出に有効に関与する有効領域（本実施の形態では、磁気抵抗効果層において膜面の略々垂直な方向に電流が流れる領域）と重ならずに、前記有効領域と接するように形成された複層膜を、構成して

いる。

【0051】

硬磁性層32、33は前述したように層23～28のZ軸方向の両側に形成されているので、絶縁層35a及びダメージ低減層35bは、図4に示すように、層23～28のABS側と反対側(-Y側)に位置している。本実施の形態では、層23～28の-Y側の端面は、後述するように製造時に一括したミリングにより形成されて、1つのテーパー面を構成している。絶縁層35aは、図4に示すように、層23～28の-Y軸側の端面及び下部金属層22の上面に沿って比較的薄く形成されている。ダメージ低減層35bは絶縁層35a上に形成され、絶縁層35aが、ダメージ低減層35bの+Y側の端面と層23～28の-Y側の端面との間、及び、ダメージ低減層35bの下面と下部金属層22の上面との間に、介在している。これにより、ダメージ低減材料が導体又は半導体であっても、層23～28間がダメージ低減層35bにより短絡しないようになっている。

【0052】

もっとも、本発明では、ダメージ低減材料として絶縁体を用いてもよく、その場合には、絶縁層35aを形成する必要はなく、ダメージ低減層35bを絶縁層35aの部分にも及ぶように形成すればよい。この場合、絶縁層35aの部分にも及ぶように形成したダメージ低減層35bは、磁気抵抗効果層における磁気検出に有效地に関与する有効領域と重ならずに、前記有効領域と接するように形成された単層膜(勿論、複層膜としてもよい。)を、構成することになる。

【0053】

本実施の形態では、以上のようにダメージ低減層35b及び絶縁層35aが形成されているため、図4からもわかるように、トンネルバリア層26の-Y側の端面の全領域と、上部金属層(非磁性金属層)28の上面(+X側(基体15と反対側)の面)と略同一の高さ(X軸方向の位置)を有し上部金属層28から外れた面に対して、磁気抵抗効果層の厚さ方向(X軸方向)及びこの厚さ方向に対して傾斜した方向の両方にトンネルバリア層26の-Y側の端面の全領域を写像した、写像領域の付近との間にも、ダメージ低減層35b(したがって、ダメー

ジ低減材料)が介在している。それ以外の箇所に位置しているダメージ低減層35bの部分は、後述するようなトンネルバリア層26の-Y側の端面に至る経路のイオンビームダメージを低減するものではなく、単に下部金属層22と上部金属層29との間のスペーサとしての役割を果たしているに過ぎない。したがって、例えば、図4中のB-B'線の右側では、ダメージ低減層35bを形成せずに、その代わりに任意の材料(例えば、絶縁層35aと同じ材料)の層を形成してもよい。しかし、ダメージ低減層35bが図4中のB-B'線の-Y側に存在していても何ら支障がないとともに、前述した箇所にのみダメージ低減層35bを部分的に配置しようとすると製造に手数を要する結果となるので、本実施の形態では、ダメージ低減層35bを図4中のB-B'線の-Y側にも存在させている。

【0054】

前記ダメージ低減材料は、例えば、P、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、As、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pt、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Hg、Tl、Pb、Biの単体、あるいは、これらのいずれか1つ以上を含む非磁性金属又は非磁性半導体であってもよい。また、前記ダメージ低減材料は、 TiO_2 、 MgO 、 Ta_2O_5 又は WO_3 などの絶縁体であってもよい。ダメージ低減材料は、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pt、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Auの単体、もしくはこれらを含む合金であることが、好ましい。ダメージ低減材料は、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt、Auの単体、もしくはこれらを含む合金であることが、更に好ましい。

【0055】

なお、ダメージ低減層35bは、硬磁性層32、33とは別個に形成されており、フリー層27へバイアス磁界を与える磁区制御層を構成していない。ところで、硬磁性層32、33は、前述したようにCr/CoPt等の材料で構成され、ダメージ低減材料で構成されているので、結果的に、硬磁性層32、33もダメージ低減層であると言える。本発明では、前記ダメージ低減層35bのように

、磁区制御層が結果的にダメージ低減層となっている場合であっても、本実施の形態のように、磁区制御層以外にもダメージ低減材料を前述したような箇所に配置する。

【0056】

誘導型磁気変換素子3は、図2及び図3に示すように、当該素子3に対する下部磁性層としても兼用される前記上部電極31、上部磁性層36、コイル層37、アルミナ等からなるライトギャップ層38、ノボラック樹脂等の有機樹脂で構成された絶縁層39及びアルミナ等からなる保護層40などを有している。磁性層36の材質としては、例えば、NiFe又はFeNなどが用いられる。下部磁性層としても兼用された上部電極31及び上部磁性層36の先端部は、微小厚みのアルミナなどのライトギャップ層38を隔てて対向する下部ポール部31a及び上部ポール部36aとなっており、下部ポール部31a及び上部ポール部36aにおいて磁気記録媒体に対して情報の書き込みを行なう。下部磁性層としても兼用された上部電極31及び上部磁性層36は、そのヨーク部が下部ポール部31a及び上部ポール部36aとは反対側にある結合部41において、磁気回路を完成するように互いに結合されている。絶縁層39の内部には、ヨーク部の結合部41のまわりを渦巻状にまわるように、コイル層37が形成されている。コイル層37の両端は、前述したボンディングパッド5c, 5dに電気的に接続されている。コイル層37の巻数及び層数は任意である。また、誘導型磁気変換素子3の構造も任意でよい。

【0057】

次に、本実施の形態による磁気ヘッドの製造方法の一例について、説明する。

【0058】

まず、ウエハ工程を行う。すなわち、基体15となるべき $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$ 又はSiC等のウエハ101を用意し、薄膜形成技術等を用いて、ウエハ101上のマトリクス状の多数の磁気ヘッドの形成領域にそれぞれ、前述した各層を前述した構造となるように形成する。

【0059】

このウエハ工程の概要について、図6乃至図10を参照して説明する。図6乃

至図10はウエハ工程を構成する各工程を模式的に示す図であり、図6(a)、図7(a)、図8(a)及び図10(a)はそれぞれ概略平面図である。図6(b)は図6(a)中のC-D線に沿った概略断面図、図7(b)は図7(a)中のC-D線に沿った概略断面図、図8(b)は図8(a)中のE-F線に沿った概略断面図、図9は図8(b)に対応する概略断面図、図10(b)は図10(a)中のE-F線に沿った概略断面図である。なお、図7(a)において、TWは、TMR素子2が規定するトラック幅を示している。

【0060】

ウエハ工程では、まず、ウエハ101上に、下地層16、下部電極21、下部金属層22、下部金属層23、ピン層24、ピンド層25、トンネルバリア層26、フリー層27、上部金属層28を、順次積層する。このとき、下部電極21は例えばめっき法により形成し、他の層は例えばスパッタ法で形成する。このときの上部金属層28の厚さは、例えば、後述する表面酸化膜除去のためのドライエッチング後の上部金属層28の厚さが7nm以上となるような所定厚さとされる。その後、この状態の基板が一旦大気中に置かれる。このとき、磁気抵抗効果層の上面（本実施の形態では、フリー層27の上面）は、上部金属層28により保護されるので、酸化されない。しかし、上部金属層28の上面に酸化膜50が形成されることになる（図6）。

【0061】

次に、第1のイオンミリングにより、下部金属層23、ピン層24、ピンド層25、トンネルバリア層26、フリー層27、上部金属層28及び酸化膜50を、部分的に除去する。次いで、この除去した部分に、リフトオフ法により、絶縁層34及び硬磁性層32、33を形成する（図7）。

【0062】

次いで、第2のイオンミリングにより、TMR素子2のハイト方向に関して必要な幅（Y軸方向の幅）を持つとともに所定長さだけZ軸方向に延びる帯状部分を残して、下部金属層23、ピン層24、ピンド層25、トンネルバリア層26、フリー層27、上部金属層28、酸化膜50、硬磁性層32、33、絶縁層34を、部分的に除去する。次に、この除去した部分に、リフトオフ法により、絶

縁層35a及びダメージ低減層35bを形成する(図8)。

【0063】

次に、上部金属層29を形成するのと同じ真空装置内で、スパッタエッチングやイオンビームエッチングなどのドライエッチングを行うことにより、上部金属層28の上面に形成された酸化膜50を除去する(図9)。このとき、上部金属層28の厚さが7nm以上と比較的厚くされているので、図9に示すように、上部金属層28を通過する経路1を通ろうとするイオンビームによるトンネルバリア層26のダメージは、上部金属層28により低減される。一方、図9に示すように、上部金属層28を通過することなく経路2でトンネルバリア層26の-Y側の端面へ向かおうとするイオンビームによるトンネルバリア層26のダメージは、この経路2中にダメージ低減層35bが介在しているため、ダメージ低減層35bにより、低減される。なお、図9では、イオンビームがX軸方向にのみ進行するように示しているが、実際には、イオンビームはX軸方向に対して斜めに入射する成分も持つ。

【0064】

その後、上部金属層29がスパッタ法等により形成され、更に、メッキ法等により上部電極31を形成する(図10)。

【0065】

最後に、ギャップ層38、コイル層37、絶縁層39、上部磁性層36及び保護膜40を形成し、更に電極5a～5d等を形成する。これにより、ウエハ工程が完了する。

【0066】

次に、ウエハ工程後が完了したウエハに対して、公知の工程を経て磁気ヘッドを完成させる。簡単に説明すると、前記ウエハから、基体上に複数の磁気ヘッドの部分が一列状に配列された各バー(バー状磁気ヘッド集合体)切り出す。次いで、このバーに対して、スロートハイト、MRハイト等を設定するために、そのABS側にラッピング処理(研磨)を施す。次に、ABS側に保護膜4を形成し、更に、エッチング等によりレール11、12を形成する。最後に、機械加工により切断してバーを個々の磁気ヘッドに分離する。これにより、本実施の形態に

よる磁気ヘッドが完成する。

【0067】

本実施の形態によれば、前述したように、フリー層27の上面に上部金属層28が形成されているので、上部金属層28よってフリー層27の表面の酸化が防止される。また、上部金属層28の表面が空気中で酸化しても、上部金属層29を形成する前に、ドライエッティングにより上部金属層28の表面酸化膜50が除去されるので、上部電極31と上部金属層29との間の良好な電気的接触を得ることができる。このとき、磁気抵抗効果層は、前記ドライエッティングによりイオンビームダメージを受ける。しかし、本実施の形態では、上部金属層28の厚さが7nm以上であり比較的厚いので、図9中の経路1のイオンビームにより磁気抵抗効果層（特に、トンネルバリア層26）が受けるダメージは、低減される。

そして、本実施の形態では、図9中の経路2にダメージ低減層35bが介在されているので、この経路2中にAl₂O₃又はSiO₂しか存在していなかった従来技術（これに相当する比較例は、後述する。）と比べて、経路2でトンネルバリア層26の-Y側の端面へ向かおうとするイオンビームによるトンネルバリア層26のダメージが、低減される。

【0068】

このため、本実施の形態によれば、従来技術と比べてMR比などの素子の特性が向上する。

【0069】

【比較例】

【0070】

ここで、前記第1の実施の形態による磁気ヘッドと比較される比較例の磁気ヘッドについて、図11及び図12を参照して説明する。

【0071】

図11は、この比較例による磁気ヘッドの要部を示す概略断面図である。図12は、この比較例による磁気ヘッドの要部を示す他の概略断面図である。図11及び図12は、それぞれ図4及び図5に対応している。図11及び図12において、図4及び図5中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重

複する説明は省略する。

【0072】

この比較例による磁気ヘッドが前記第1の実施の形態による磁気ヘッドと異なる所は、前記第1の実施の形態において、絶縁層35a及びダメージ低減層35bが形成されていた部分に、その代わりに Al_2O_3 又は SiO_2 からなる絶縁層35を形成した点のみである。

【0073】

この比較例による磁気ヘッドの製造方法について、図13乃至図15を参照して説明する。図13乃至図15は、それぞれ図8乃至図10に対応している。

【0074】

この製造方法が前述した第1の実施の形態による磁気ヘッドの製造方法と異なる所は、ウエハ工程のみであるので、ここではウエハ工程についてのみ説明する。

【0075】

このウエハ工程では、第1の実施の形態による磁気ヘッドと同じく、前述した図6及び図7に示す工程を経る。その後、第2のイオンミリングにより、TMR素子2のハイト方向に関して必要な幅(Y軸方向の幅)を持つとともに所定長さだけZ軸方向に延びる帯状部分を残して、下部金属層23、ピン層24、ピンド層25、トンネルバリア層26、フリー層27、上部金属層28、酸化膜50、硬磁性層32、34、絶縁層34を除去する。この段階までは第1の実施の形態による磁気ヘッドの前述した製造方法と同一であるが、比較例による磁気ヘッドを製造する場合、この除去した部分に、リフトオフ法により、 Al_2O_3 又は SiO_2 からなる絶縁層35を形成する(図13)。この後の工程は、第1の実施の形態による磁気ヘッドの前述した製造方法と同一である。

【0076】

次に、上部金属層29を形成するのと同じ真空装置内で、スパッタエッチングやイオンビームエッチングなどのドライエッチングを行うことにより、上部金属層28の上面に形成された酸化膜50を除去する(図14)。このとき、経路1に関しては前述した図9の場合と同一であるが、この比較例では、経路2にはA

Al_2O_3 又は SiO_2 しか介在していないため、上部金属層28を通過することなく経路2でトンネルバリア層26の-Y側の端面へ向かおうとするイオンビームによるトンネルバリア層26のダメージは、図9の場合に比べて大きくなってしまう。

【0077】

その後、上部金属層29がスパッタ法等により形成され、更に、メッキ法等により上部電極31を形成し（図15）、ウェハ工程が終了する。

【0078】

この比較例は従来技術に相当するものである。図9と図14の経路2を比較すれば明らかなように、経路2にダメージ低減層35bが介在している前記第1の実施の形態では、経路2には Al_2O_3 又は SiO_2 しか介在していない比較例に比べて、トンネルバリア層26に対するイオンビームダメージが低減されることがわかる。

【0079】

【第2の実施の形態】

【0080】

図16は、本発明の第2の実施の形態による磁気ヘッドのTMR素子2及び誘導型磁気変換素子3の部分を模式的に示す拡大断面図である。図17は、図16中のG-G'矢視概略図である。図18は、図16中のTMR素子2付近を更に拡大した拡大図である。図19は、図17中のTMR素子2付近を更に拡大した拡大図である。図20は、図19中のH-H'矢視図である。図16乃至図19は、それぞれ図2乃至図5に対応している。

【0081】

図16乃至図20において、図1乃至図5中の要素と同一又は対応する要素には同一符号を付し、その重複する説明は省略する。第2の実施の形態による磁気ヘッドが前記第1の実施の形態による磁気ヘッドと異なる所は、以下に説明する点のみである。

【0082】

本実施の形態では、第1の実施の形態における下部金属層22, 23がそれら

を積層したものとして下部金属層22として表され、この下部金属層22が、フリー層27、反強磁性層63及び非磁性金属層64と実質的に重なる領域のみに形成されている。

【0083】

本実施の形態では、TMR素子2は、図18及び図19に示すように、下地層16上に形成された下部電極21と、下部電極21の上側（基体15と反対側）に形成された上部電極31と、電極21、31間に下部電極21側から順に積層された、下部金属層22、反強磁性層63、非磁性金属層64、フリー層27、トンネルバリア層26、ピンド層25、ピン層24、及び、保護膜となる非磁性金属層としての上部金属層（キャップ層）28、及び、上部電極31の下地層としての上部金属層29と、を備えている。フリー層27、トンネルバリア層26、ピンド層25及びピン層24が、磁気抵抗効果層を構成している。実際のTMR素子2は、図示されたような層数の膜構造ではなく、より多層の膜構造を有するのが一般的であるが、図に示す磁気ヘッドでは、説明の簡略化のため、TMR素子2の基本動作に必要な最少膜構造を示してある。

【0084】

反強磁性層63は、非磁性金属層64を介してフリー層27と交換結合することにより、フリー層27の磁化方向を固定することなく、交換結合磁界をバイアス磁界としてフリー層27に対してZ軸方向（トラック幅方向）に与える。すなわち、反強磁性層63及び非磁性金属層64は、フリー層27に対してバイアス磁界を与える磁区制御層となっている。反強磁性層63は、例えば、PtMn、IrMn、RuRhMn、FeMn、NiMn、PdPtMn、RhMn又はCrMnPtなどのMn系合金で形成される。非磁性金属層64は、例えば、Cu、Ru、Rh、Cr、Au、Agなどで形成される。非磁性金属層64の厚みを厚くすると交換結合が弱くなるので、非磁性金属層64の厚さは、フリー層27に十分なバイアス磁界を与えられるように設定される。場合によっては、非磁性金属層64は、なくても良い。ピンド層25は、ピン層24との間の交換結合バイアス磁界によってその磁化方向がY軸方向に固定されている。一方、フリー層27は、前述したように、バイアス磁界が印加されるが、基本的に磁気情報であ

る外部磁場に応答して自由に磁化の向きが変わらようになっている。

【0085】

第2の実施の形態では、図18乃至図20に示すように、トンネルバリア層26、ピンド層25、ピン層24及び上部金属層28のX軸方向から見た平面視の大きさは、所望のトラック幅TW及びMRハイト h に従って規定されている。厳密に言えば、層24～26, 28は、後述するように同時にイオンミリングされることにより、平面視の大きさが定められ、それらの+Z側、-Z側及び-Y側端面は図18及び図19に示すようにテーパー面となっているので、層24～26, 28のうち下側の層ほど若干大きくなるが、これらの平面視の大きさは実質的に同じであると言える。図20では、層24～26, 28については、その上部金属層28のみを示し、その平面視の大きさが $TW \times h$ であるとして示している。なお、層24～26, 28の+Y側(ABS側)の端面は、後述するラッピング処理により定まり、膜面に対して垂直となっている。

【0086】

一方、第2の実施の形態では、反強磁性層63、非磁性金属層64及びフリー層27は、図20に示すように、 $w \times h_1$ の領域に形成され、トンネルバリア層26、ピンド層25、ピン層24及び上部金属層29が形成されている領域($TW \times h$ の領域)と実質的に重なる領域と、その領域から+Z側及び-Z側に連続して延びた領域とに、形成されている。したがって、 $w > TW$ となっている。厳密に言えば、層63, 64, 27は、後述するように同時にイオンミリングされることにより、平面視の大きさが定められ、それらの+Z側、-Z側及び-Y側端面は図18及び図19に示すようにテーパー面となっているので、層63, 64, 27下側の層ほど若干大きくなるが、これらの平面視の大きさは実質的に同じであると言える。図20では、層63, 64, 27については、そのフリー層27のみを示し、その平面視の大きさが $w \times h$ であるとして示している。また、層24～28, 64, 63の-Y側の端面は、これらの層が同時にイオンミリングされることにより、連続したテーパー面となっているため、厳密に言えば、幅 h_1 は幅 h より広いが、幅 h_1 と幅 h とは実質的に同じであると言える。しかし、図6では、理解を容易にするため、 $h_1 > h$ として示している。もっとも、層

63, 64, 27を、層24～26, 28と実質的にちょうど重なる領域に形成してもよい。

【0087】

第2の実施の形態では、前述したように、反強磁性層63及び非磁性金属層64が磁区制御層となっているので、第1の実施の形態で形成されていた硬磁性層32, 33及び絶縁層34は、除去されている。第2の実施の形態では、層22, 63, 64, 27, 26, 25, 24, 28の-Y側(ABSと反対側)だけでなく、これらの層の+Z側及び-Z側にも、絶縁層35a及びダメージ低減層35bが形成されている。本実施の形態においてこの絶縁層35a及びダメージ低減層35bが形成されている部分には、従来技術に従えば、その代わりに Al_2O_3 又は SiO_2 からなる絶縁層が形成されることになる。

【0088】

次に、本実施の形態による磁気ヘッドの製造方法の一例について、説明する。

【0089】

まず、ウエハ工程を行う。すなわち、基体15となるべき $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiC}$ 又は SiC 等のウエハ101を用意し、薄膜形成技術等を用いて、ウエハ101上のマトリクス状の多数の磁気ヘッドの形成領域にそれぞれ、前述した各層を前述した構造となるように形成する。

【0090】

このウエハ工程の概要について、図21乃至図24を参照して説明する。図21乃至図24はウエハ工程を構成する各工程を模式的に示す図であり、図21(a)、図22(a)、図23(a)及び図24(a)はそれぞれ概略平面図である。図21(b)は図21(a)中のJ-K線に沿った概略断面図、図22(b)は図22(a)中のJ-K線に沿った概略断面図、図23(b)は図23(a)中のL-M線に沿った概略断面図、図24(b)は図24(a)中のJ-K線に沿った概略断面図である。なお、図22(a)、図23(a)及び図24(a)において、TWはTMR素子2が規定するトラック幅を示し、wは反強磁性層63、非磁性金属層64及びフリー層27のZ軸方向(トラック幅方向)の幅を示し、これらは図20中の同符号のものとそれぞれ対応している。なお、図21

乃至図23において、図6乃至図9中の表面酸化膜50に相当する表面酸化膜は省略して示している。

【0091】

ウエハ工程では、まず、ウエハ101上に、下地層16、下部電極21、下部金属層22、反強磁性層63、非磁性金属層64、フリー層27、トンネルバリア層26、ピンド層25、ピン層24及び上部金属層28を、順次積層する（図7）。このとき、下部電極21は例えめっき法により形成し、他の層は例えスパッタ法で形成する。このときの上部金属層28の厚さは、例えば、後述する表面酸化膜除去のためのドライエッチング後の上部金属層28の厚さが7nm以上となるような所定厚さとされる。その後、この状態の基板が一旦大気中に置かれる。このとき、磁気抵抗効果層の上面（本実施の形態では、ピン層24の上面）は、上部金属層28により保護されるので、酸化されない。しかし、上部金属層28の上面に酸化膜（図示せず）が形成されることになる（図21）。

【0092】

次に、第1のイオンミリングにより、トラック幅TWに応じたY軸方向に延びる帶状部分を残して、トンネルバリア層26、ピンド層25、ピン層24、上部金属層28及び前記酸化膜を、部分的に除去する。このとき、第1のイオンミリングは、トンネルバリア層26まで完全に除去するが、フリー層27をほとんど除去しない位置で、停止させる。このようなストップ位置は、例えば、SIMS（Secondary Ion-microprobe Mass Spectrometer、2次イオン質量分析計）によってミリング中に出てくる物質をモニタすることにより、適切に設定することができる。そして、第1のイオンミリングの後、リフトオフ法を用いて、第1のイオンミリングにより除去した部分に、絶縁層35aの一部となるべき絶縁層35a'及びダメージ低減層35bの一部となるべきダメージ低減層35b'を形成する（図22）。

【0093】

次いで、第2のイオンミリングにより、TMR素子2のハイト方向に関して必要な幅（Y軸方向の幅）を持つとともに前記幅wに応じた長さだけZ軸方向に延びる帶状部分を残して、下部金属層22、反強磁性層63、非磁性金属層64、

フリー層27、トンネルバリア層26、ピンド層25、ピン層24、上部金属層28、絶縁層35a'及びダメージ低減層35b'を、部分的に除去する。本例では、第2のイオンミリングは、下部金属層22まで完全に除去するが、下部電極21をほとんど除去しない位置で、停止させる。もっとも、第2のイオンミリングは、例えば、反強磁性層63まで完全に除去するが、下部金属層22をほとんど除去しない位置で、停止させてもよい。そして、第2のイオンミリングの後、リフトオフ法を用いて、第2のイオンミリングにより除去した部分に、絶縁層35aの残り部分となるべき絶縁層35a"及びダメージ低減層35bの残りの部分となるべきダメージ低減層35b"を形成する(図23)。

【0094】

次に、上部金属層29を形成するのと同じ真空装置内で、スパッタエッチングやイオンビームエッチングなどのドライエッチングを行うことにより、上部金属層28の上面に形成された酸化膜(図示せず)を除去する。このとき、上部金属層28の厚さが7nm以上と比較的厚くされているので、図9中の経路1に相当する経路を通ろうとするイオンビームによるトンネルバリア層26のダメージは、上部金属層28により低減される。一方、上部金属層28を通過することなく図9中の経路2に相当する経路でトンネルバリア層26の-Y側、+Z側及び-Z側の端面へ向かおうとするイオンビームによるトンネルバリア層26のダメージは、この経路中にダメージ低減層35bが介在しているため、ダメージ低減層35b(35b', 35b")により、低減される。

【0095】

その後、上部金属層29がスパッタ法等により形成され、更に、メッキ法等により上部電極31を形成する(図24)。

【0096】

最後に、ギャップ層38、コイル層37、絶縁層39、上部磁性層36及び保護膜40を形成し、更に電極5a～5d等を形成する。これにより、ウエハ工程が完了する。

【0097】

次に、ウエハ工程後が完了したウエハに対して、公知の工程を経て磁気ヘッド

を完成させる。簡単に説明すると、前記ウエハから、基体上に複数の磁気ヘッドの部分が一列状に配列された各バー（バー状磁気ヘッド集合体）切り出す。次いで、このバーに対して、スロートハイト、MRハイト等を設定するために、そのA B S側にラッピング処理（研磨）を施す。その後、必要に応じて、スマア除去のために、ラッピング処理後のバーのA B S側の面をエッチングする。次に、A B S側に保護膜4を形成し、更に、エッチング等によりレール11，12を形成する。最後に、機械加工により切断してバーを個々の磁気ヘッドに分離する。これにより、本実施の形態による磁気ヘッドが完成する。

【0098】

本実施の形態によれば、やはりダメージ低減層35bが形成されているので、前記第1の実施の形態と同様の利点が得られる。本実施の形態のように磁区制御層を磁気抵抗効果層上に積層する構造を持つ場合、Abutted構造の場合と異なり、従来技術に従えば、トンネルバリア層26の-Y側、+Z側及び-Z側の端面付近には全てAl₂O₃又はSiO₂からなる絶縁層が形成されてしまうので、本実施の形態の効果は極めて顕著である。

【0099】

[第3の実施の形態]

【0100】

図25は、本発明の第3の実施の形態による磁気ディスク装置の要部の構成を示す概略斜視図である。

【0101】

第3の実施の形態による磁気ディスク装置は、軸70の回りに回転可能に設けられた磁気ディスク71と、磁気ディスク71に対して情報の記録及び再生を行う磁気ヘッド72と、磁気ヘッド72を磁気ディスク71のトラック上に位置決めするためのアッセンブリキャリッジ装置73と、を備えている。

【0102】

アッセンブリキャリッジ装置73は、軸74を中心にして回動可能なキャリッジ75と、このキャリッジ75を回動駆動する例えばボイスコイルモータ（VCM）からなるアクチュエータ76とから主として構成されている。

【0103】

キャリッジ75には、軸74の方向にスタックされた複数の駆動アーム77の基部が取り付けられており、各駆動アーム77の先端部には、磁気ヘッド72を搭載したヘッドサスペンションアッセンブリ78が固着されている。各ヘッドサスペンションアセンブリ78は、その先端部に有する磁気ヘッド72が、各磁気ディスク71の表面に対して対向するように駆動アーム77の先端部に設けられている。

【0104】

第3の実施の形態では、磁気ヘッド72として、前述した第1及び第2の実施の形態に係るいずれかの磁気ヘッドが、搭載されている。したがって、第3の実施の形態によれば、MR比などの素子の特性が向上することから、より高記録密度化を図ることができる。

【0105】

【実施例】

前記第1の実施の形態による磁気ヘッドと同様の構成を持つ磁気ヘッドの製造過程におけるウエハ工程完了後のウエハ（多数のTMR素子及び誘導型磁気変換素子が形成されたウエハ）、及び、前記比較例による磁気ヘッドと同様の構成を持つ磁気ヘッドの製造過程におけるウエハ工程完了後のウエハ（多数のTMR素子及び誘導型磁気変換素子が形成されたウエハ）を、絶縁層35a及びダメージ低減層35bを形成するかあるいは絶縁層35を形成するかの点を除いて、前述した製造方法に相当する互いに同じ方法及び条件で、実施例及び比較例のサンプルとしてそれぞれ作成した。実施例のサンプルの主要な各層の構成は下記の表1に示す通りとし、比較例のサンプルの主要な各層の構成は下記の表1に示す通りとし、両者の層構成は、絶縁層35a及びダメージ低減層35bを用いるかあるいは絶縁層35を形成するの点でのみ異なり、他の点は全く同一である。なお、実施例も比較例も、トラック幅TWは0.13μmとした。

【0106】

【表1】

層の名称と図中の符号	層の構成と膜厚 (2層以上の場合、左側に記載した層が下側(基板側)の層)
上部電極31 (上部磁気シールド兼用)	NiFe(2μm)
上部金属層29	Ta(3nm)
ダメージ低減層35b	Ta(50nm)
絶縁層35a	Al ₂ O ₃ (10nm)
硬磁性層32, 33	TiW(10nm)/CoPt(30nm)/Ta(50nm)
絶縁層34	Al ₂ O ₃ (10nm)
上部金属層28 (キャップ層)	Ta(25nm)
フリー層27	CoFe(1nm)/NiFe(3nm)
トンネルバリア層26	Al ₂ O ₃ (0.6nm)
ピンド層25	CoFe(2nm)/Ru(0.8nm)/CoFe(3nm)
ピン層24	PtMn(15nm)
下部金属層23	NiFe(2nm)
下部金属層22	Ta(5nm)
下部電極21 (下部磁気シールド兼用)	NiFe(2μm)

【0107】

【表2】

層の名称と図中の符号	層の構成と膜厚 (2層以上の場合、左側に記載した層が下側(基板側)の層)
上部電極31 (上部磁気シールド兼用)	NiFe(2μm)
上部金属層29	Ta(3nm)
絶縁層35	Al ₂ O ₃ (60nm)
硬磁性層32, 33	TiW(10nm)/CoPt(30nm)/Ta(50nm)
絶縁層34	Al ₂ O ₃ (10nm)
上部金属層28 (キャップ層)	Ta(25nm)
フリー層27	CoFe(1nm)/NiFe(3nm)
トンネルバリア層26	Al ₂ O ₃ (0.6nm)
ピンド層25	CoFe(2nm)/Ru(0.8nm)/CoFe(3nm)
ピン層24	PtMn(15nm)
下部金属層23	NiFe(2nm)
下部金属層22	Ta(5nm)
下部電極21 (下部磁気シールド兼用)	NiFe(2μm)

【0108】

実施例及び比較例のサンプルの製造時に、上部金属層28の表面の酸化膜除去のためのドライエッティングとして、Arのイオンビームエッティングを次の条件を行った。その条件は、加速電圧を250V、ビーム電流を0.1mA/cm²、Arガス圧を 2×10^{-4} Torr、基板温度を30°C、エッティング時間を約2分間とした。

【0109】

実施例及び比較例のサンプルのそれぞれについて、ウエハ内の全TMR素子の抵抗値及びMR比を測定した。表3に、その測定結果として、実施例及び比較例のサンプルのそれぞれについて、ウエハ内の全TMR素子の抵抗値の平均値及びMR比の平均値を示す。

【0110】

【表3】

	抵抗値 (Ω) (平均)	MR比 (%) (平均)
実施例	26.5	7.9
比較例	20.5	5.8

【0111】

表3からわかるように、絶縁層35a及びダメージ低減層35bを形成した実施例の場合には、ダメージ低減層を形成せずに絶縁層35を形成した比較例の場合に比べて、抵抗値及びMR比が高く、バリア層26がダメージを受けていないことがわかる。

【0112】

以上、本発明の各実施の形態及び実施例について説明したが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。

【0113】

例えば、前述した実施の形態では、前述した構造のTMR素子を有する磁気TMR素子を有する磁気ヘッドの例であったが、本発明は、他の構造を持つTMR素子や他の磁気抵抗効果素子を有する磁気ヘッド等にも、適用することができる。具体的には、本発明は、例えば、CPP-GMRヘッドなどのTMRヘッド以外の他のCPP構造を持つ磁気ヘッドにも適用することができる。

【0114】

さらに、前述した実施の形態では、本発明による磁気抵抗効果素子を磁気ヘッドに用いた例を挙げたが、本発明による磁気抵抗効果素子は他の種々の用途にも

適用することができる。

【0115】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、表面酸化膜を除去して低抵抗化を実現しつつイオンビームダメージを低減し、ひいては素子の特性を向上することができる、磁気抵抗効果素子、並びに、これを用いた磁気ヘッド、ヘッドサスペンションアセンブリ及び磁気ディスク装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1の実施の形態による磁気ヘッドを模式的に示す概略斜視図である。

【図2】

図1に示す磁気ヘッドのTMR素子及び誘導型磁気変換素子の部分を模式的に示す拡大断面図である。

【図3】

図2中のA-A'矢視概略図である。

【図4】

図2中のTMR素子2付近を更に拡大した拡大図である。

【図5】

図3中のTMR素子2付近を更に拡大した拡大図である。

【図6】

図1乃至図5に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する一工程を模式的に示す図である。

【図7】

図1乃至図5に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する他の工程を模式的に示す図である。

【図8】

図1乃至図5に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する更に他の工程を模式的に示す図である。

【図9】

図1乃至図5に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する更に他の工程を模式的に示す図である。

【図10】

図1乃至図5に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する更に他の工程を模式的に示す図である。

【図11】

比較例による磁気ヘッドの要部を示す概略断面図である。

【図12】

図11に示す比較例による磁気ヘッドの要部を示す他の概略断面図である。

【図13】

図11及び図12に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する一工程を模式的に示す図である。

【図14】

図11及び図12に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する他の工程を模式的に示す図である。

【図15】

図11及び図12に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する更に他の工程を模式的に示す図である。

【図16】

本発明の第2の実施の形態による磁気ヘッドのTMR素子及び誘導型磁気変換素子の部分を模式的に示す拡大断面図である。

【図17】

図16中のG-G'矢視概略図である。

【図18】

図16中のTMR素子付近を更に拡大した拡大図である。

【図19】

図17中のTMR素子付近を更に拡大した拡大図である。

【図20】

図19中のH-H'矢視図である。

【図21】

図16乃至図20に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する一工程を模式的に示す図である。

【図22】

図16乃至図20に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する他の工程を模式的に示す図である。

【図23】

図16乃至図20に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する更に他の工程を模式的に示す図である。

【図24】

図16乃至図20に示す磁気ヘッドの製造方法におけるウエハ工程を構成する更に他の工程を模式的に示す図である。

【図25】

本発明の第3の実施の形態による磁気ディスク装置の要部の構成を示す概略斜視図である。

【符号の説明】

- 1 スライダ
- 2 TMR素子
- 3 誘導型磁気変換素子
- 21 下部電極
- 22, 23 下部金属層
- 24 ピン層
- 25 ピンド層
- 26 トンネルバリア層
- 27 フリー層
- 28 上部金属層（非磁性層、キャップ層）
- 29 上部金属層
- 31 上部電極

35a 絶縁層

35b ダメージ低減層

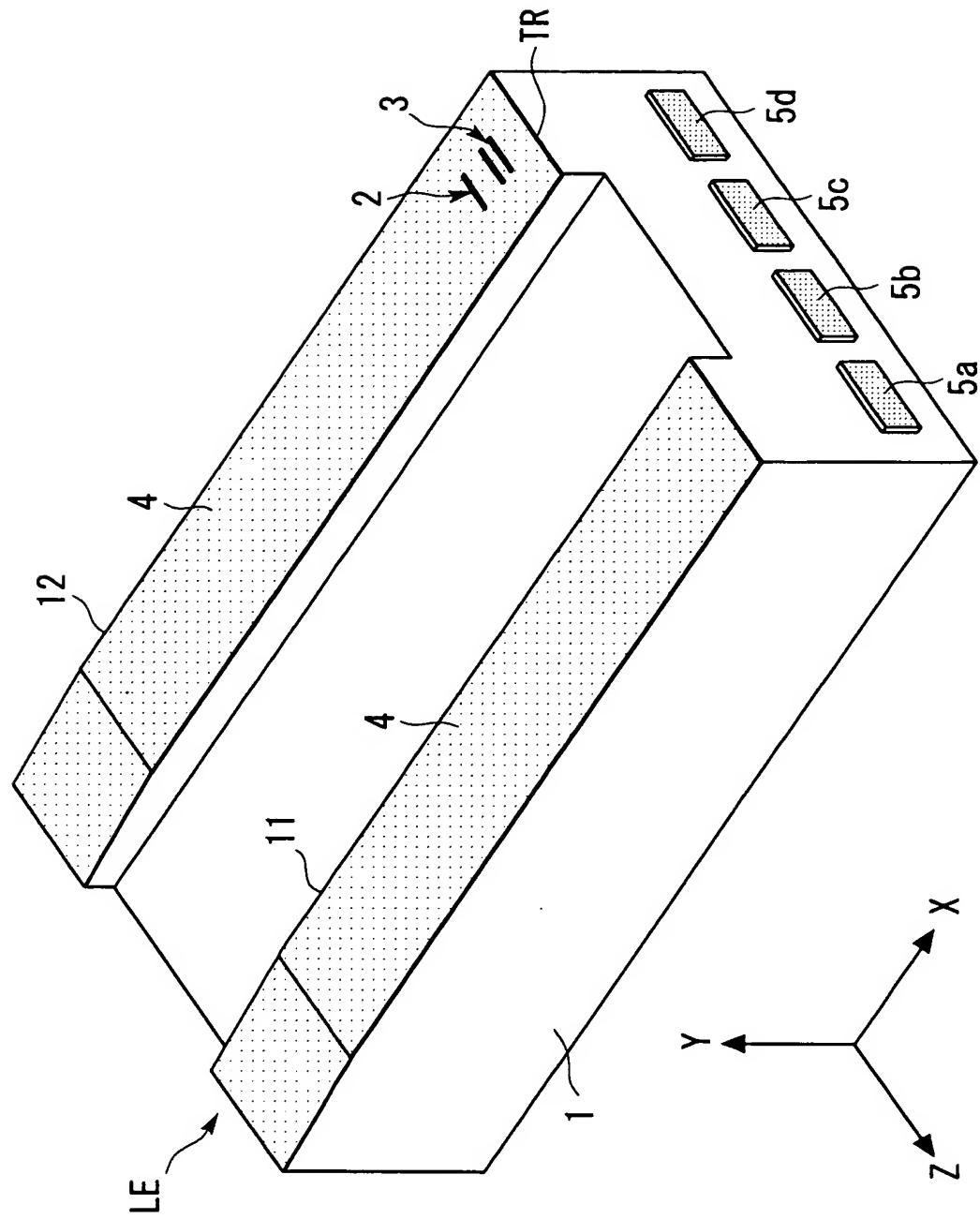
63 反強磁性層

64 非磁性層

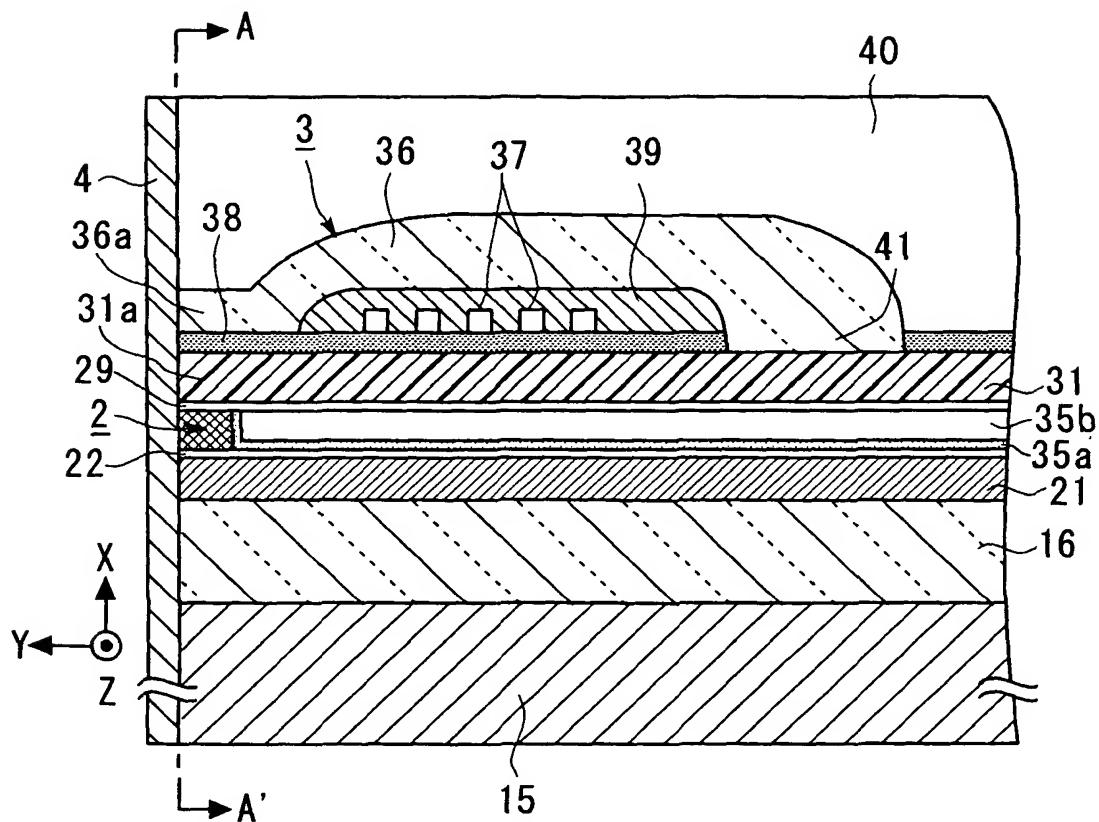
【書類名】

図面

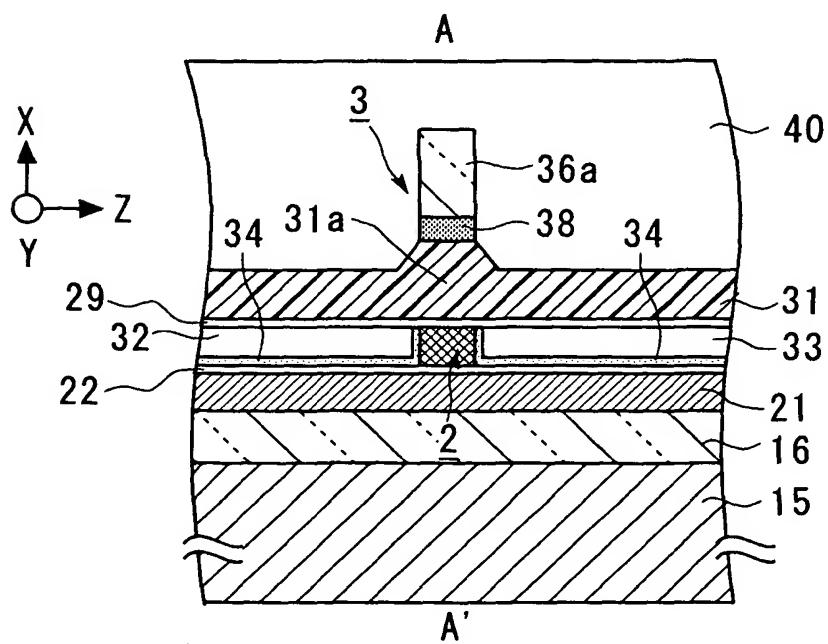
【図1】



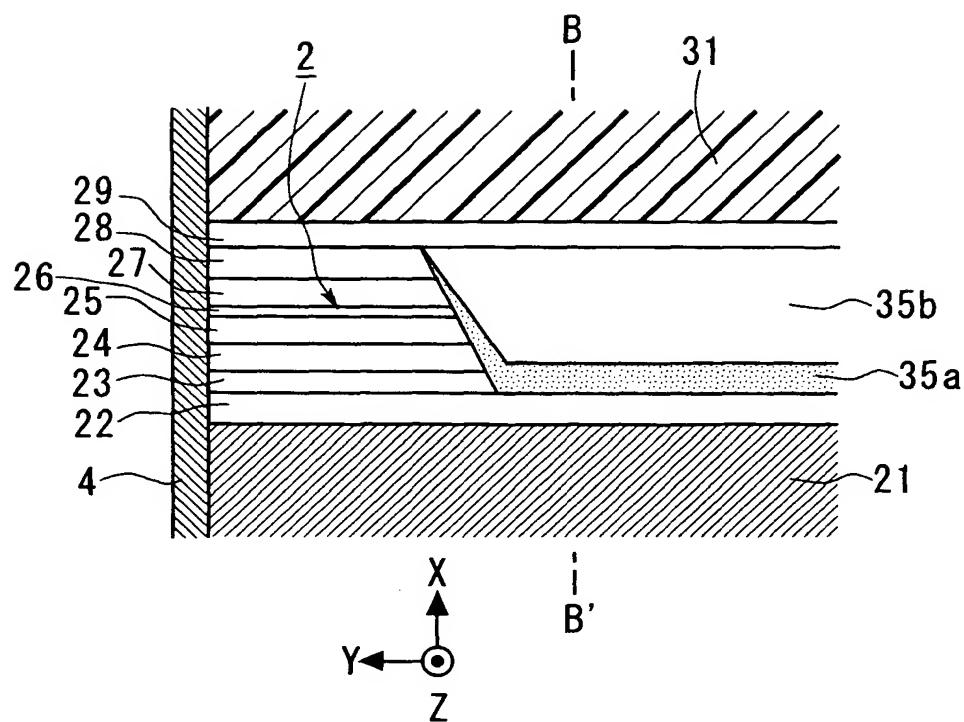
【図2】



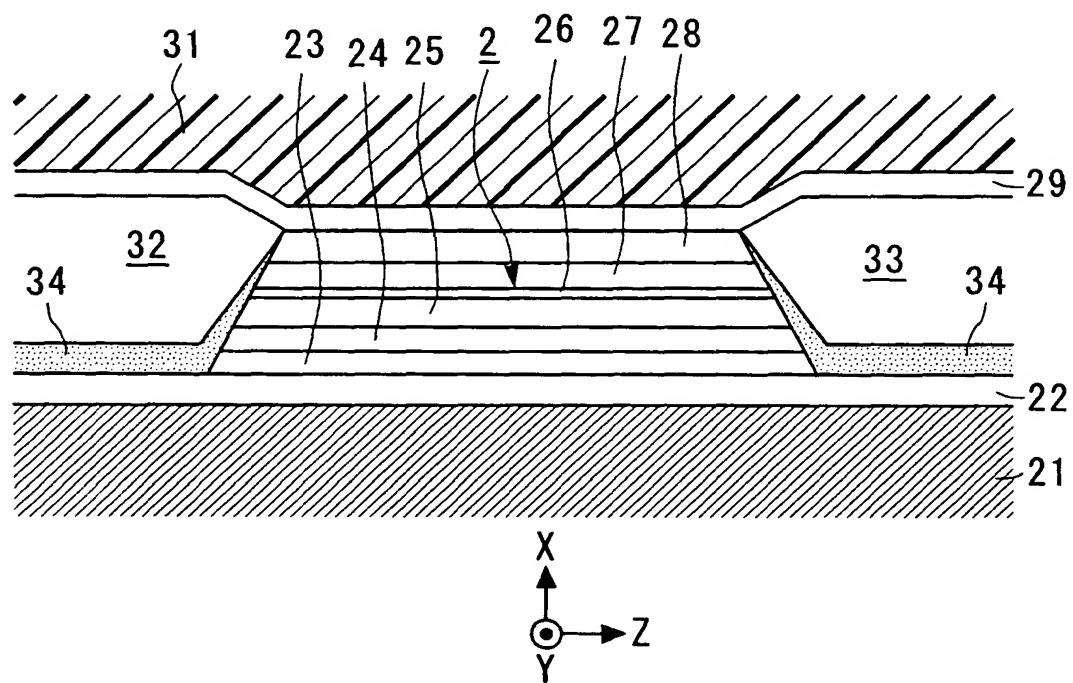
【図3】



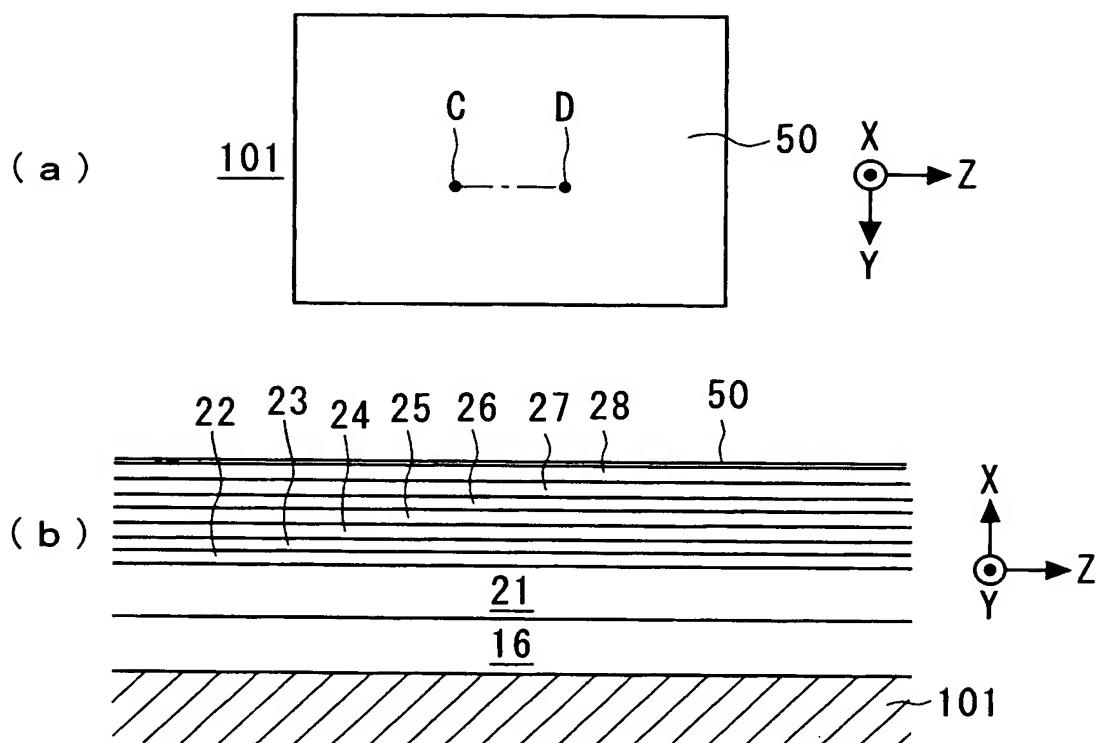
【図4】



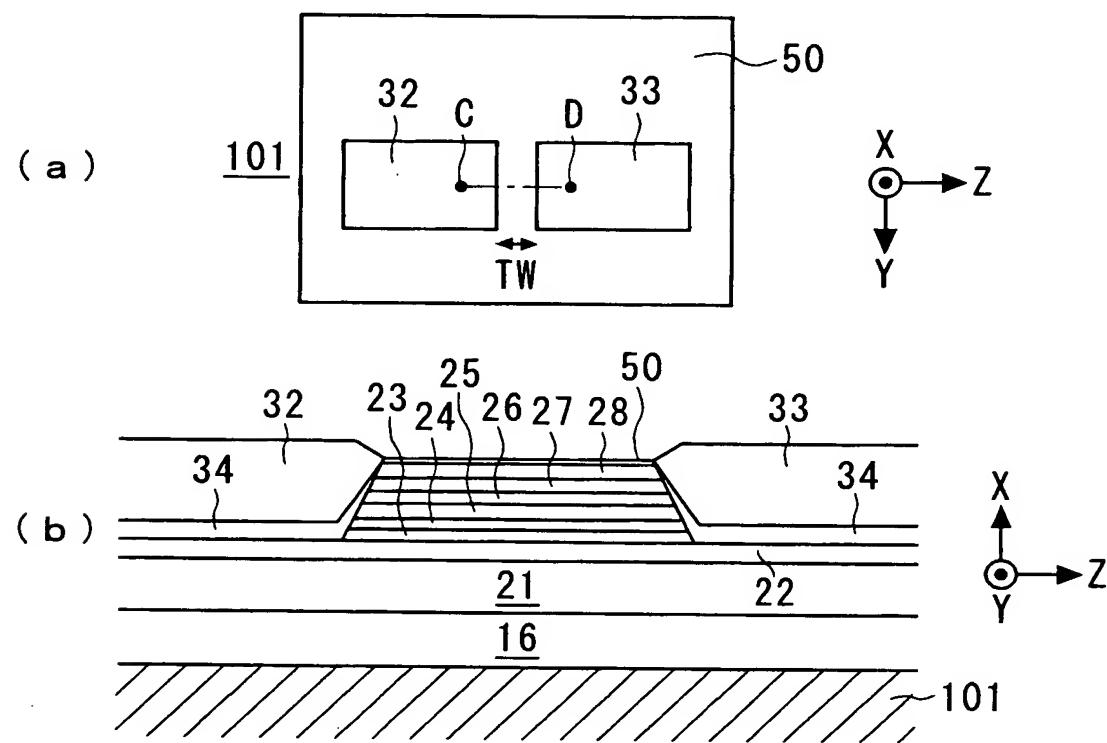
【図5】



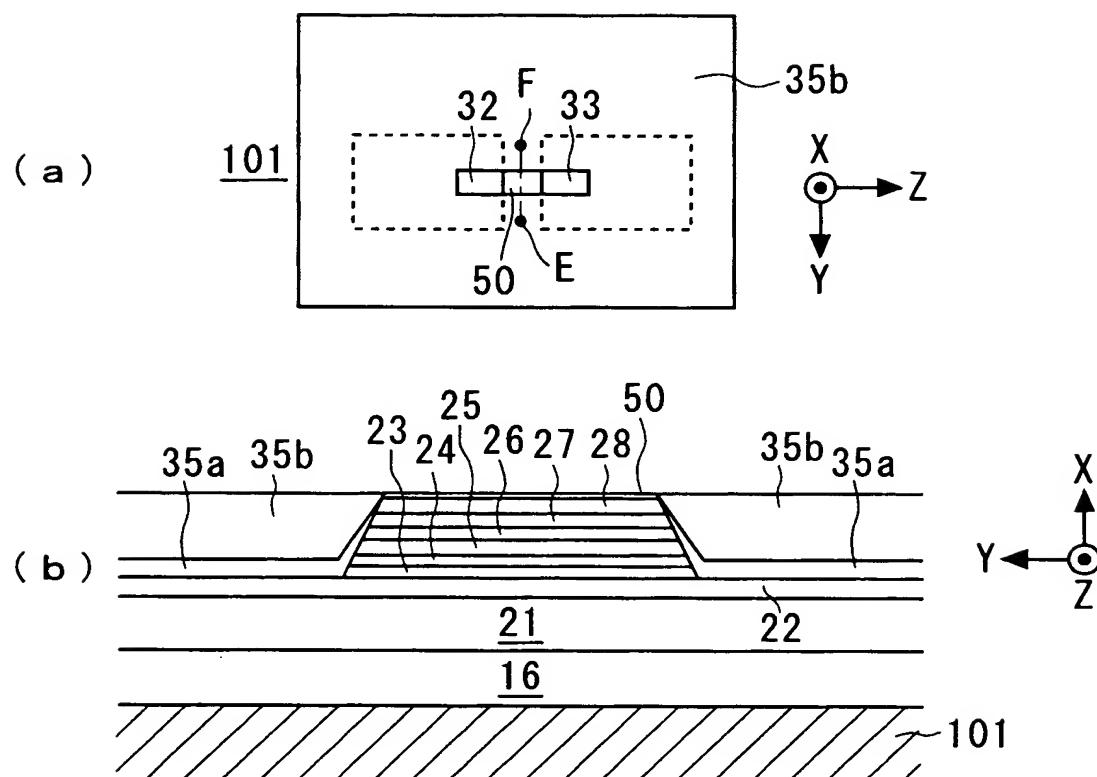
【図6】



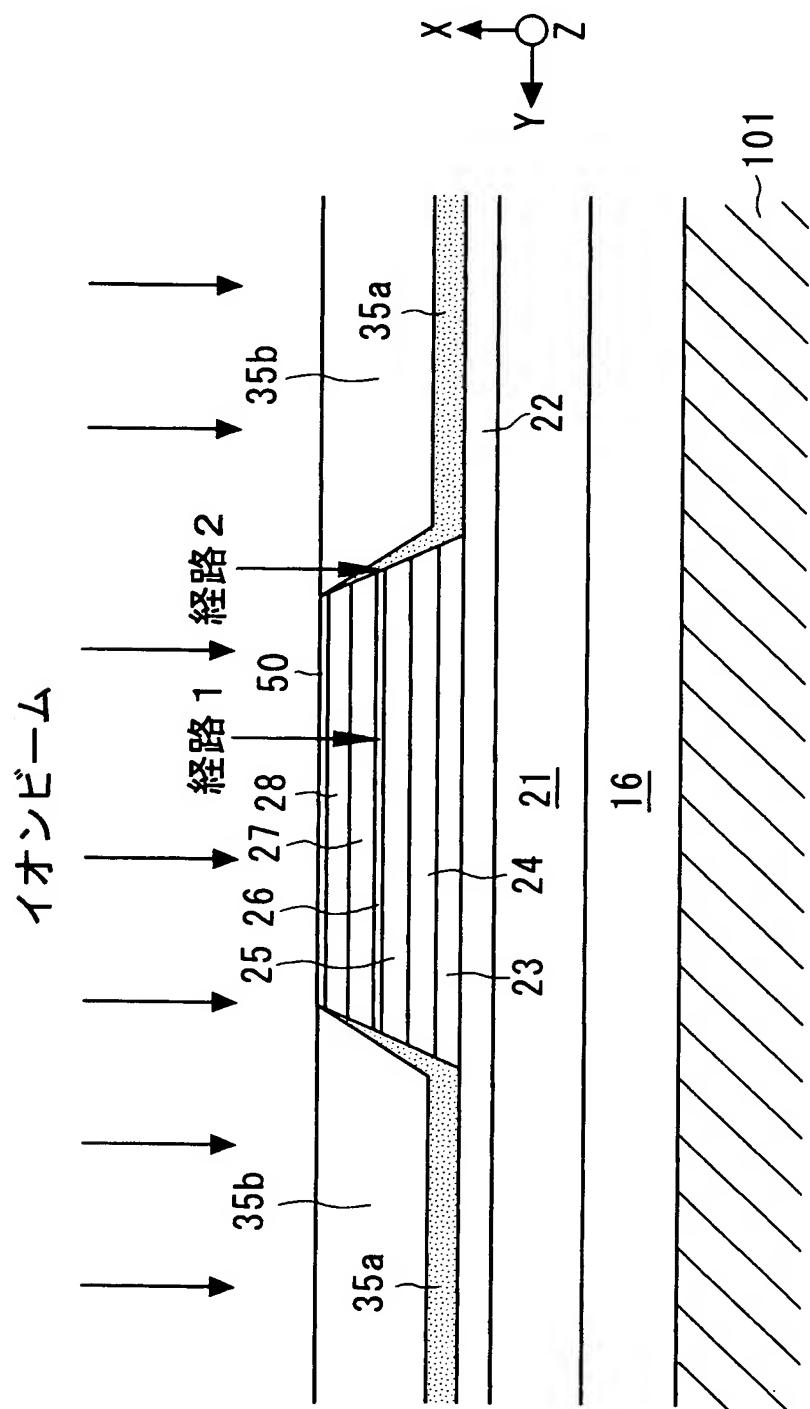
【図7】



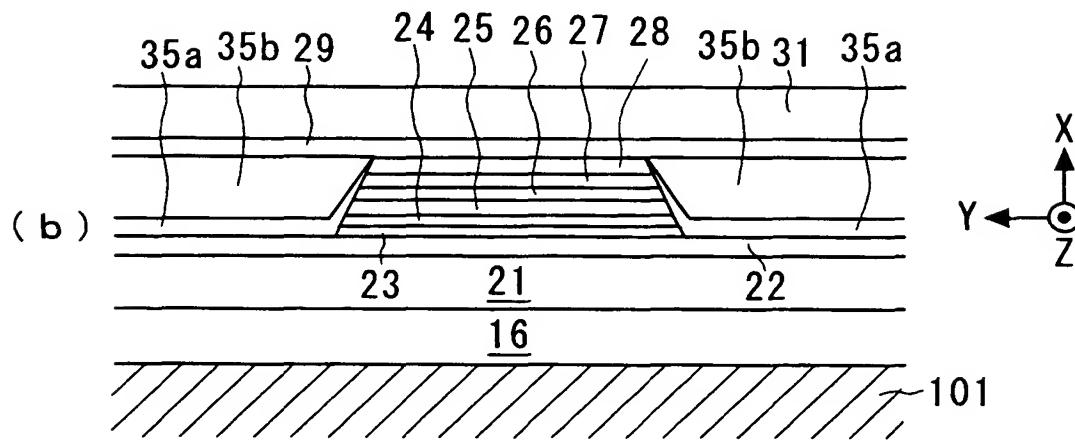
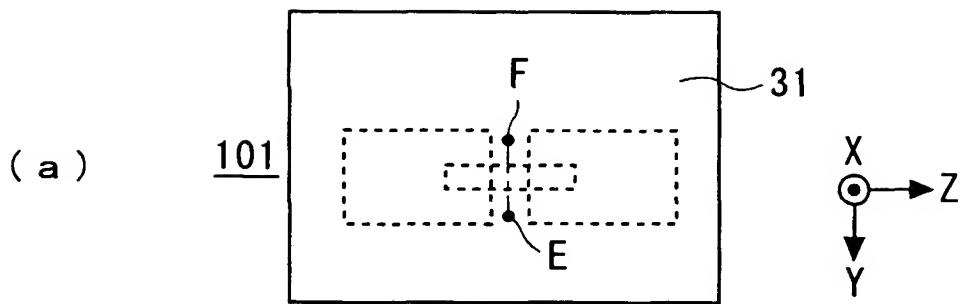
【図8】



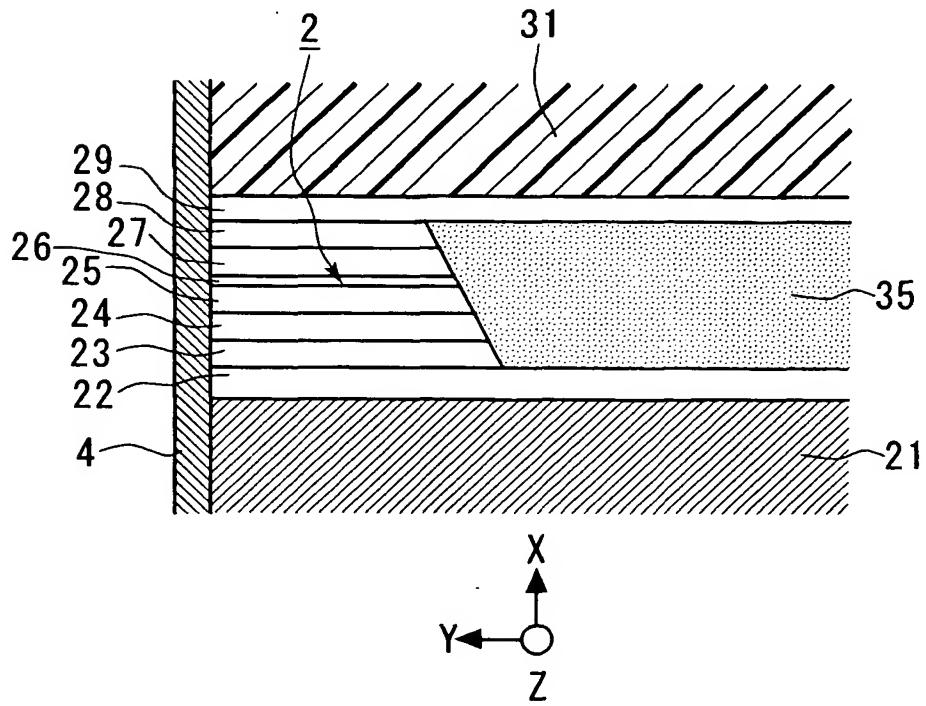
【図9】



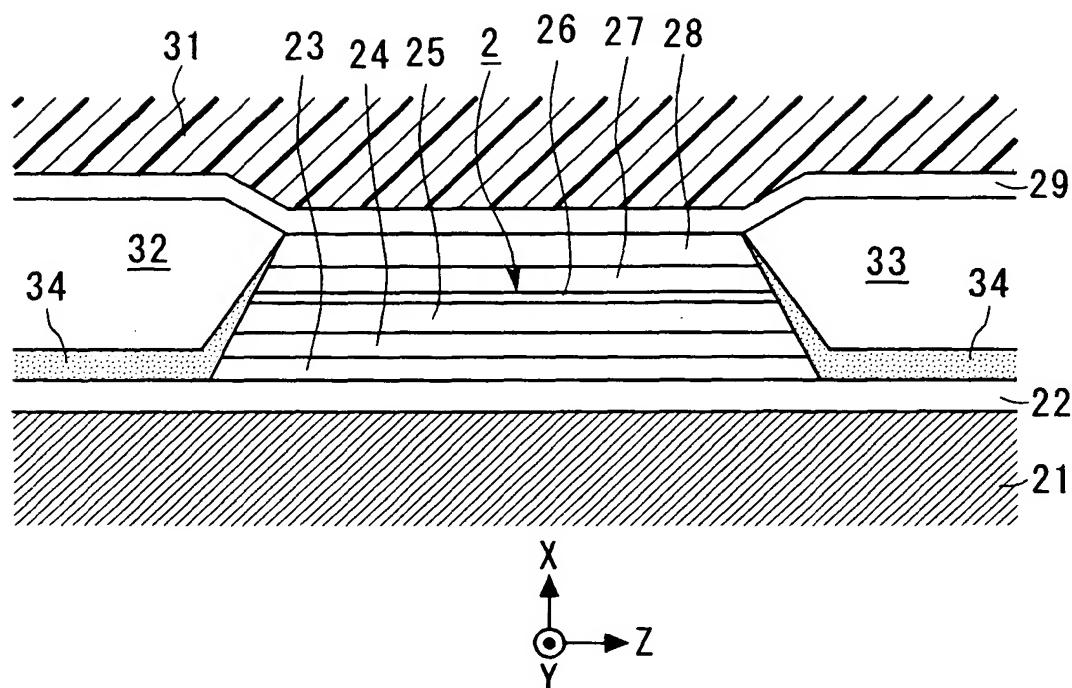
【図10】



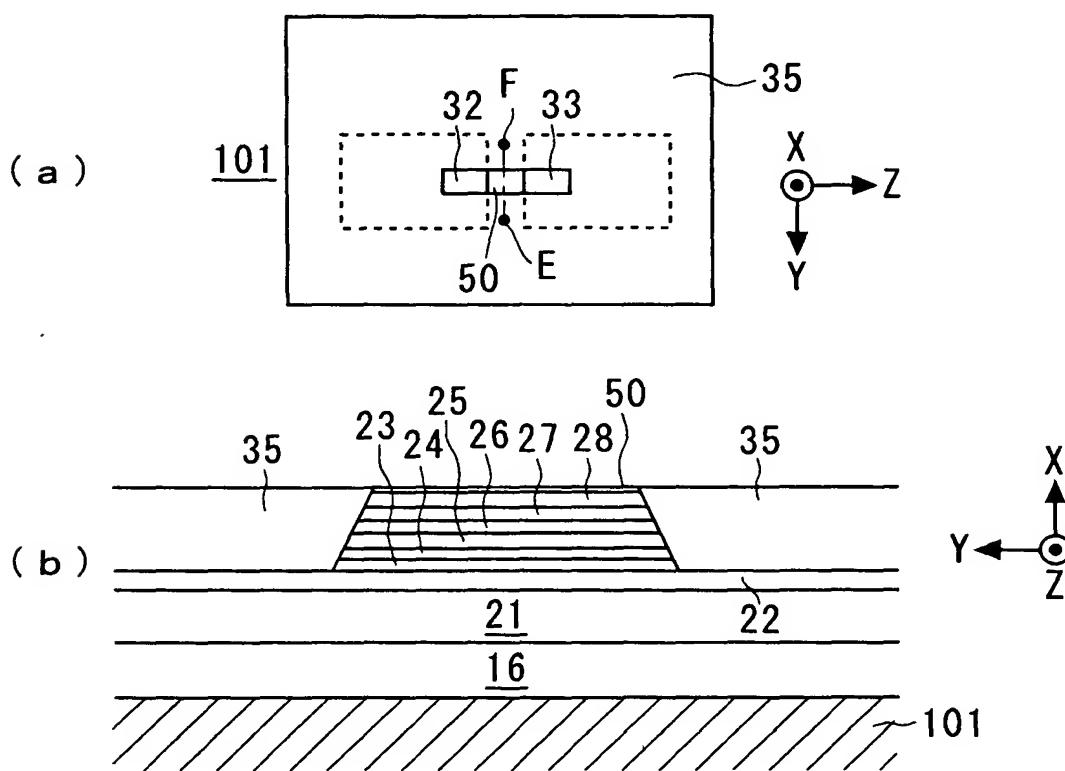
【図11】



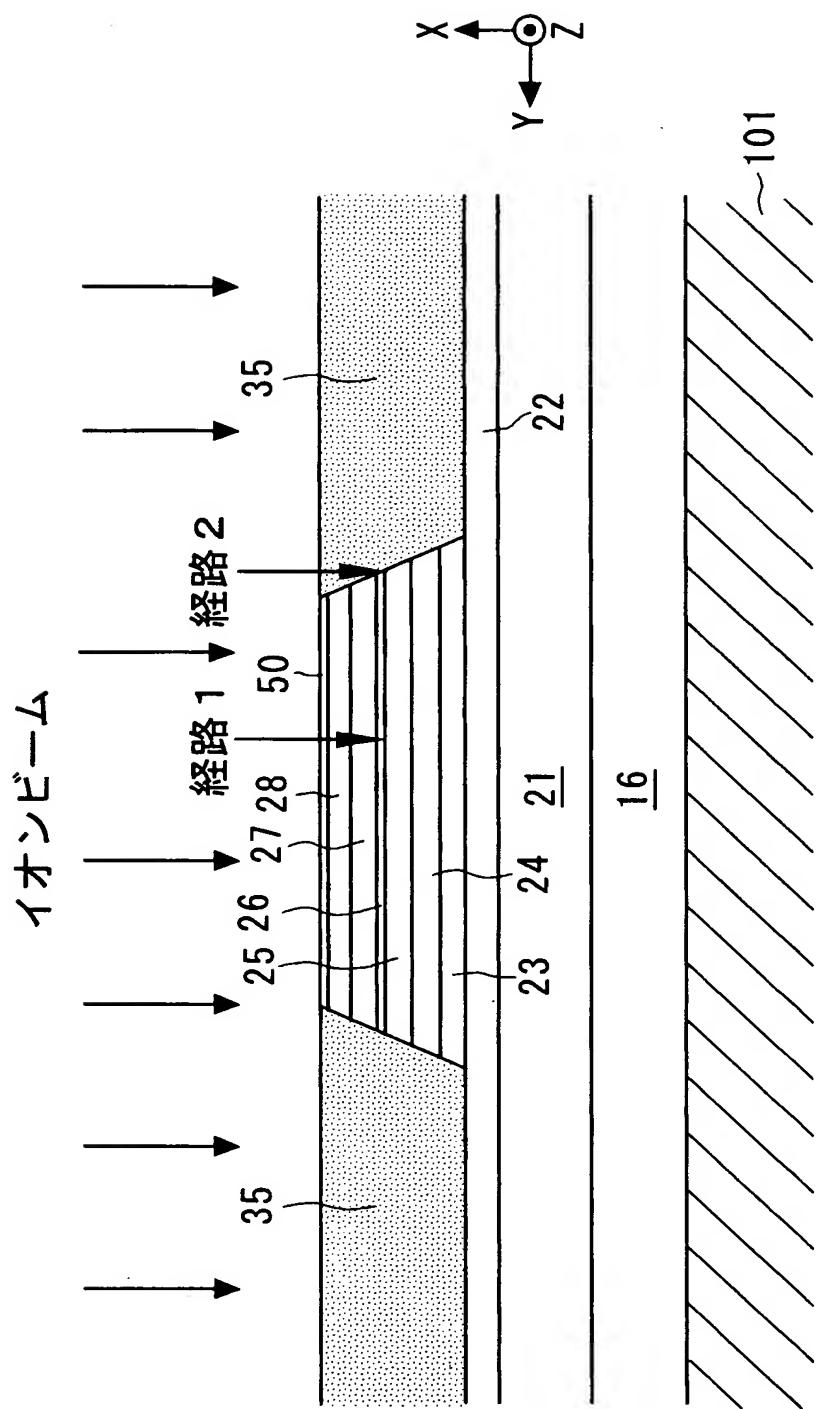
【図12】



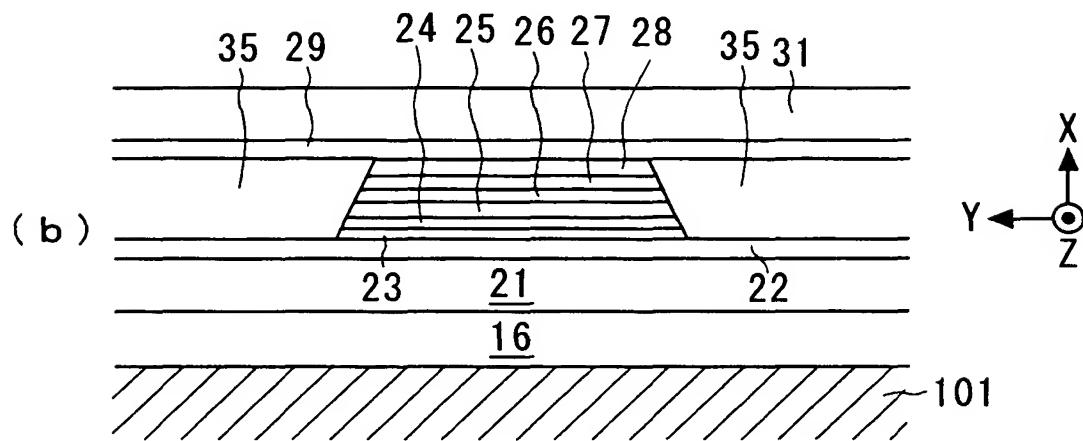
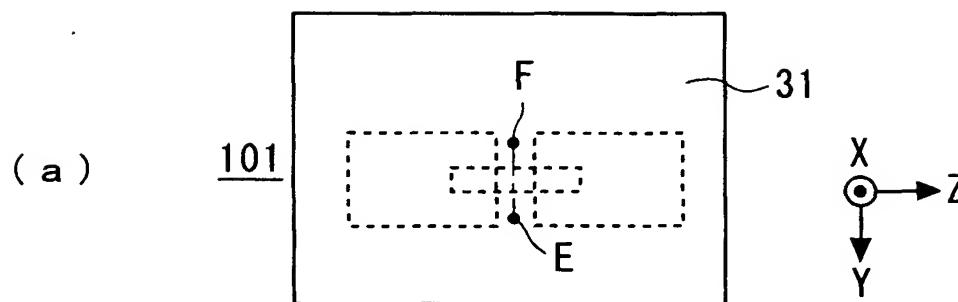
【図13】



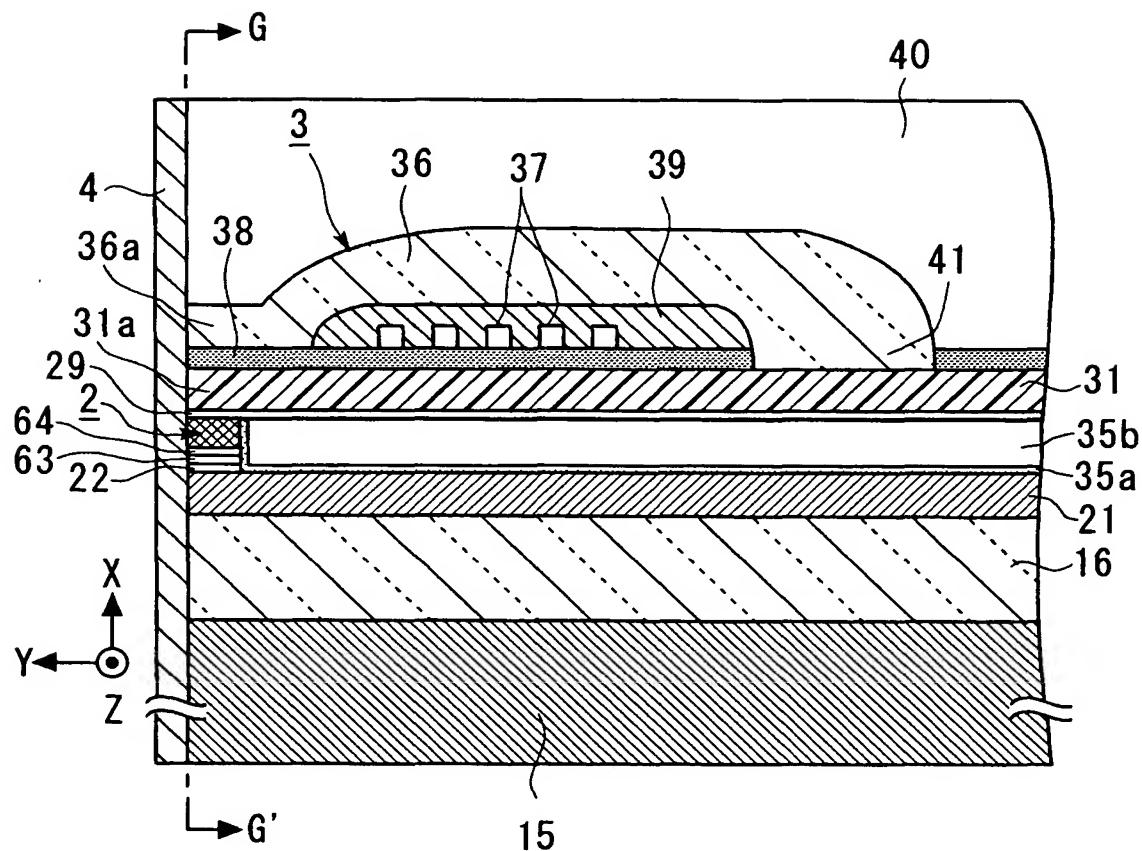
【図14】



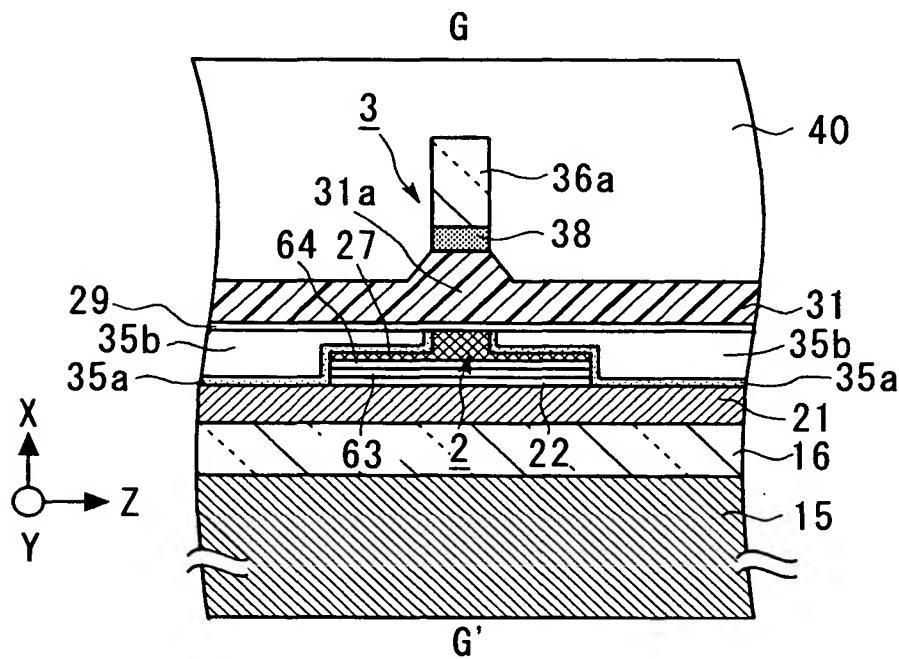
【図15】



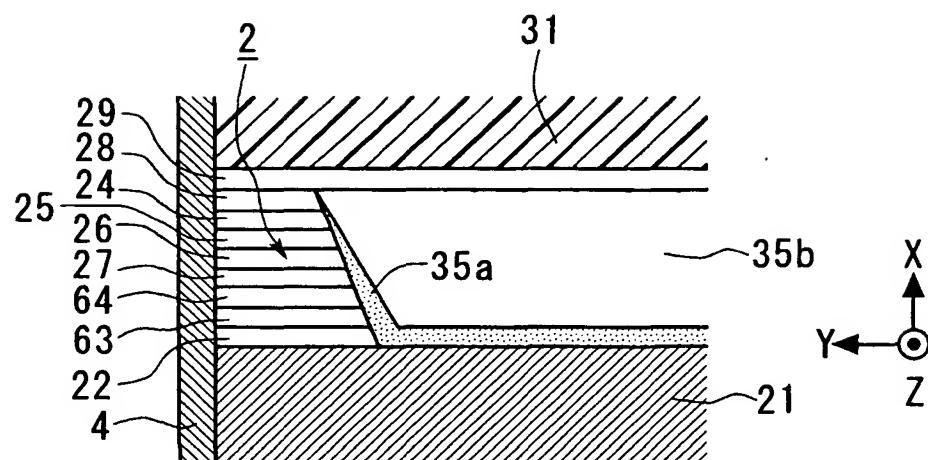
【図16】



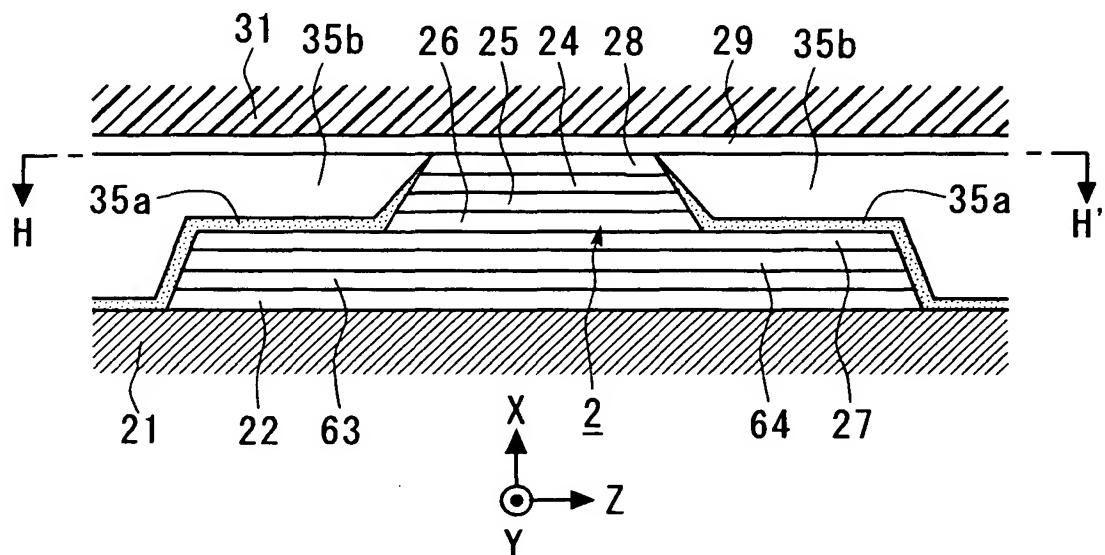
【図17】



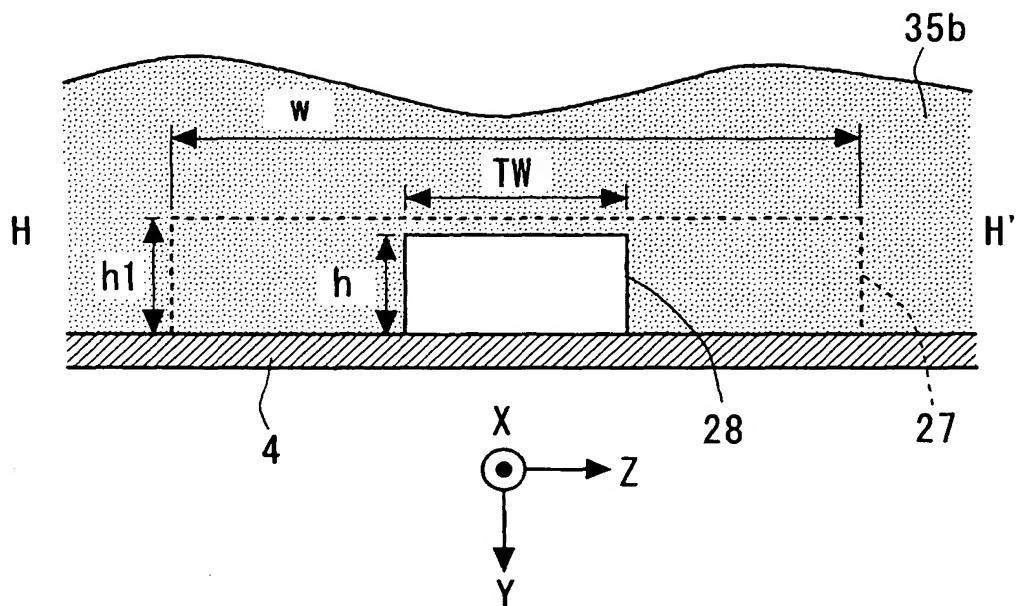
【図18】



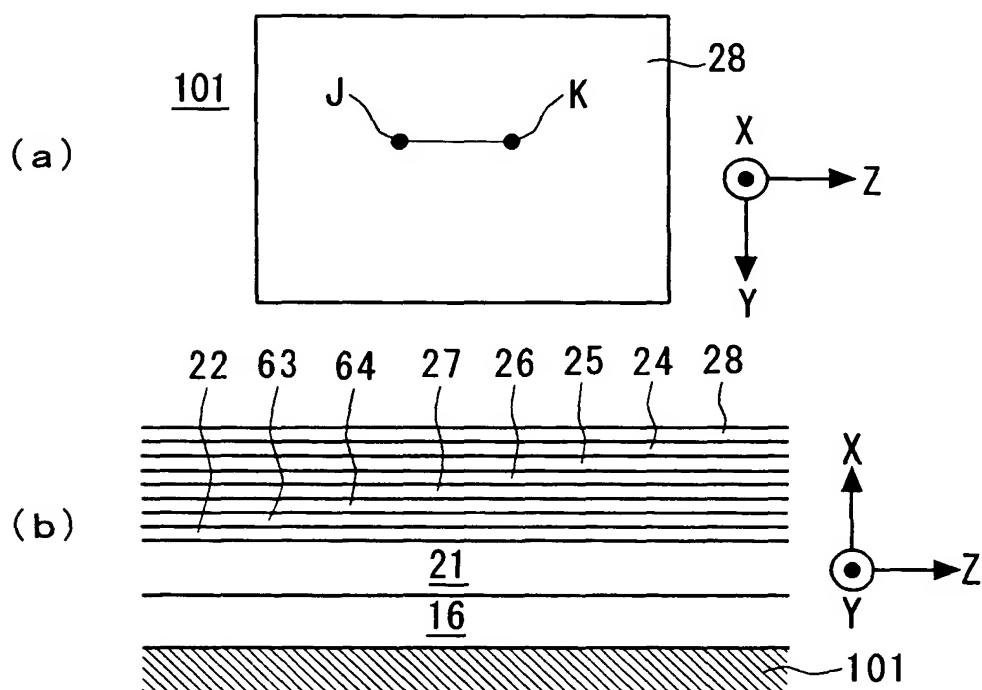
【図19】



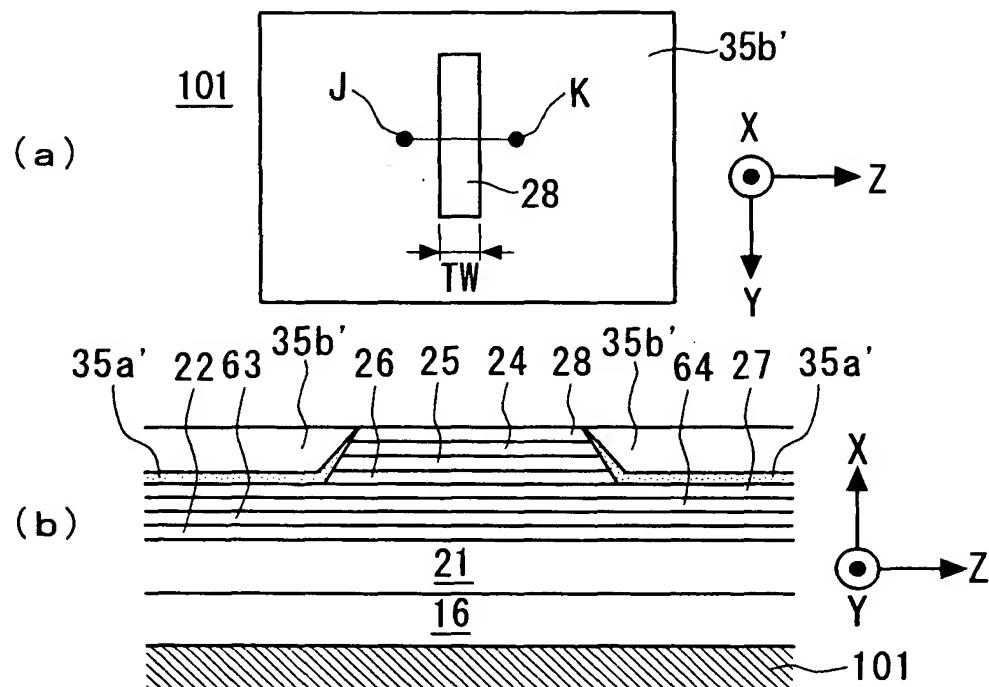
【図20】



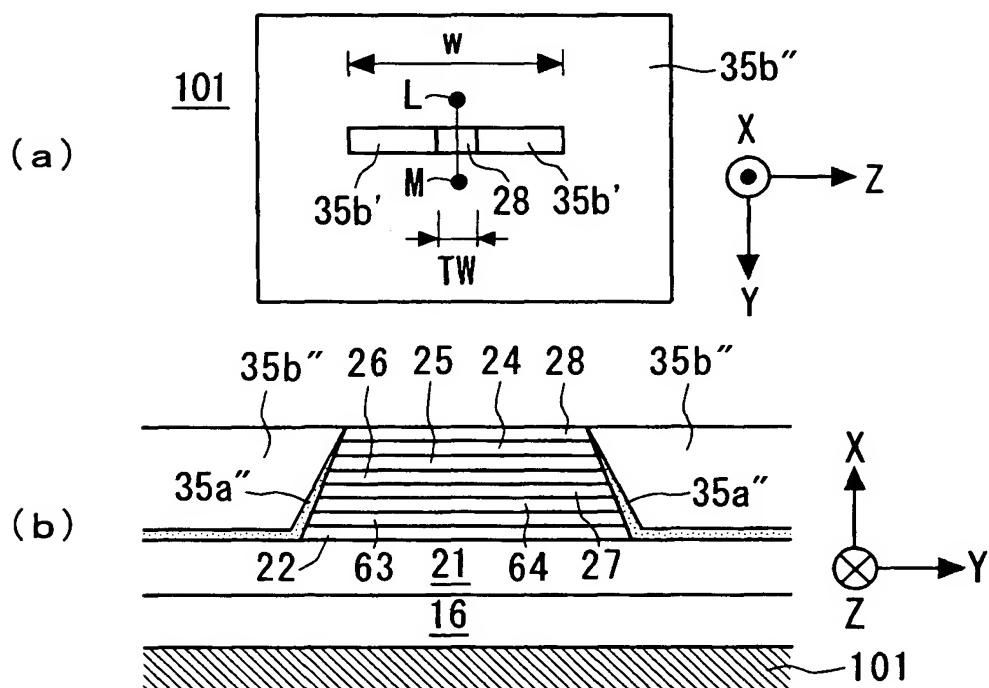
【図21】



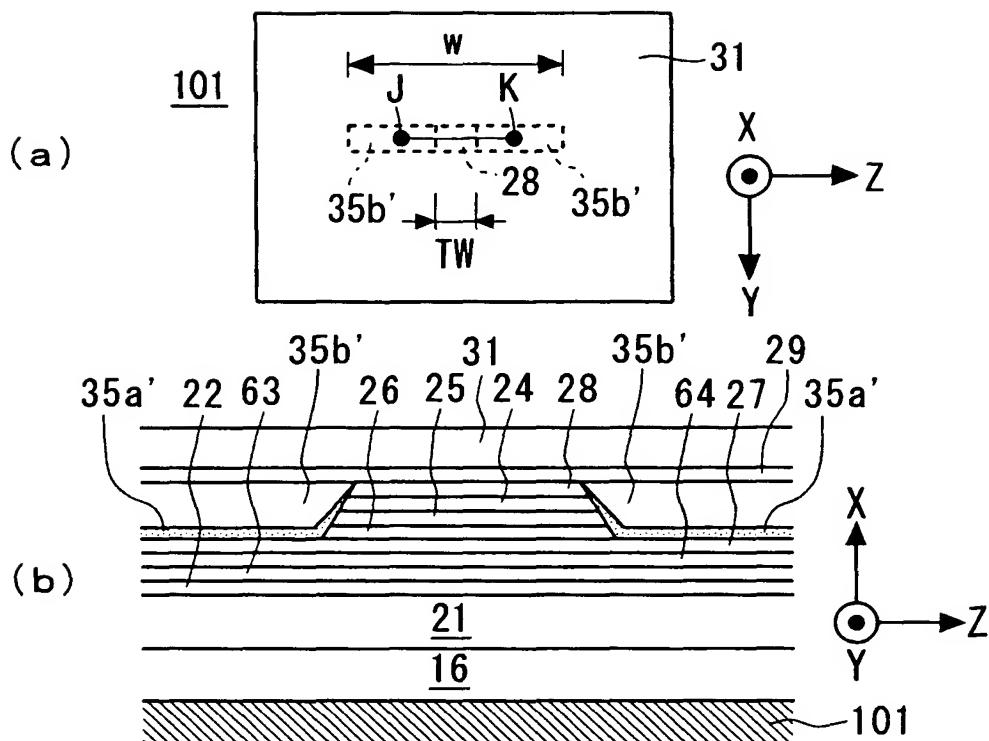
【図22】



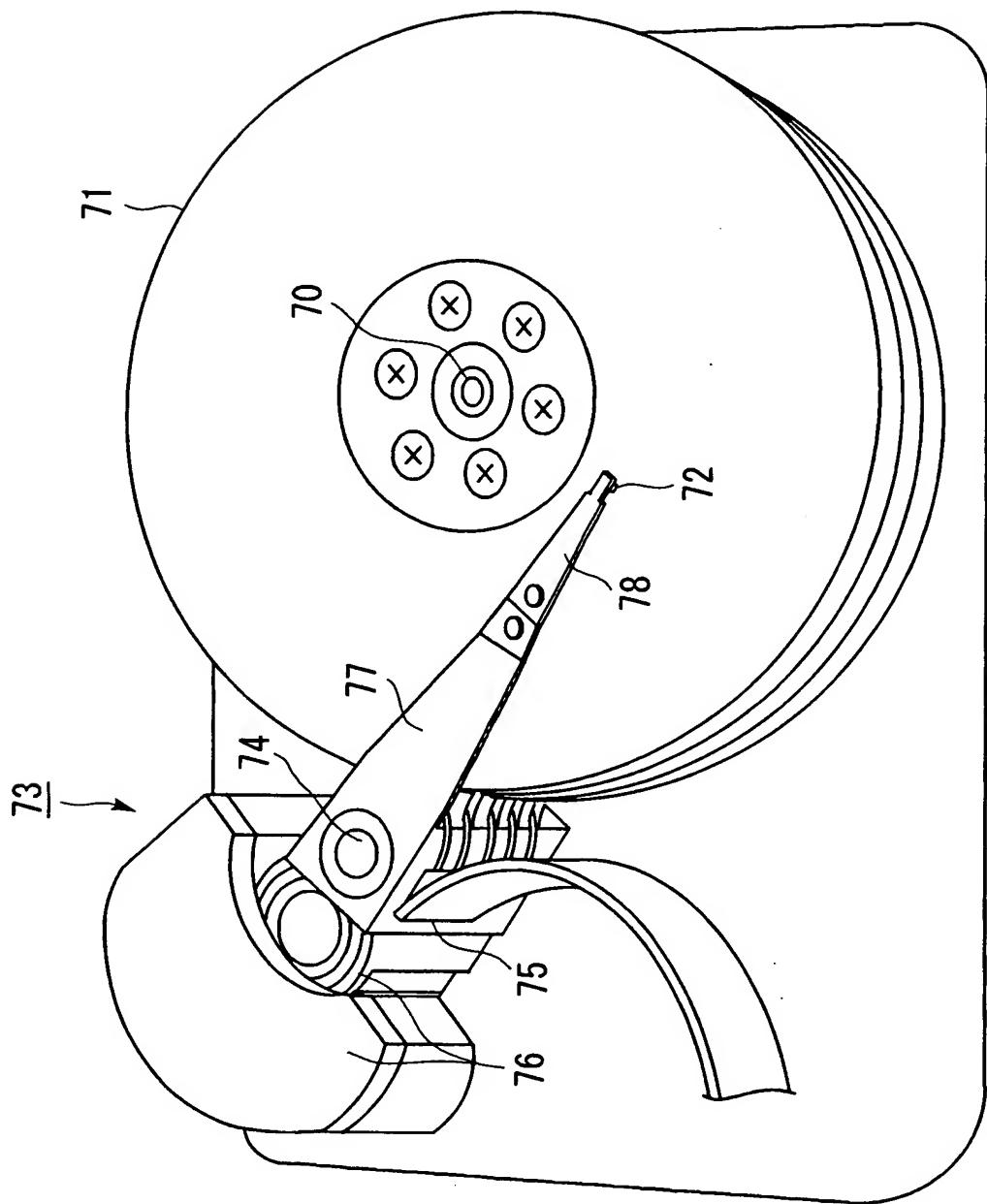
【図23】



【図24】



【図25】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 表面酸化膜を除去して低抵抗化を実現しつつイオンビームダメージを低減し、ひいては素子の特性を向上させる。

【解決手段】 磁気抵抗効果層は、トンネルバリア層26と、これを挟む下側のピンド層25及び上側のフリー層27とを有する。フリー層27上には、保護膜となる非磁性層28が形成される。層35a, 36からなる複層膜が、ABSと反対側(-Y側)において、磁気抵抗効果層における磁気検出に有効に関与する有効領域と重ならずに、前記有効領域と接するように形成される。下層35aは絶縁材料からなる。上層35bは、Siよりも単体の原子量が大きい元素を少なくとも一種類含む材料からなる。層35a, 35bは、フリー層27にバイアス磁界を与える磁区制御層を構成しない。

【選択図】 図4

出願人履歴情報

識別番号 [000003067]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都中央区日本橋1丁目13番1号

氏 名 ティーディーケイ株式会社